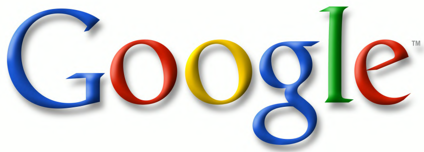
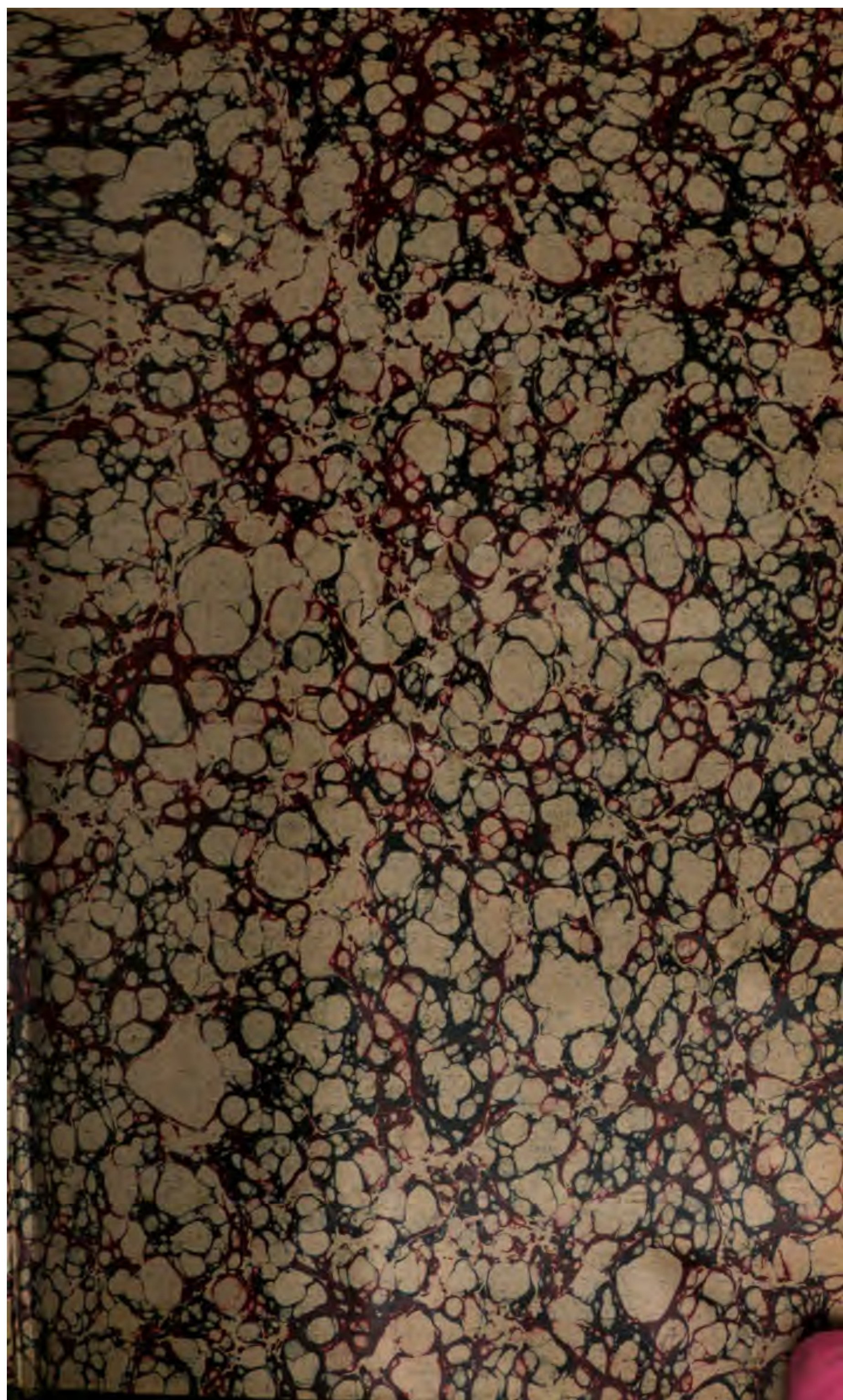
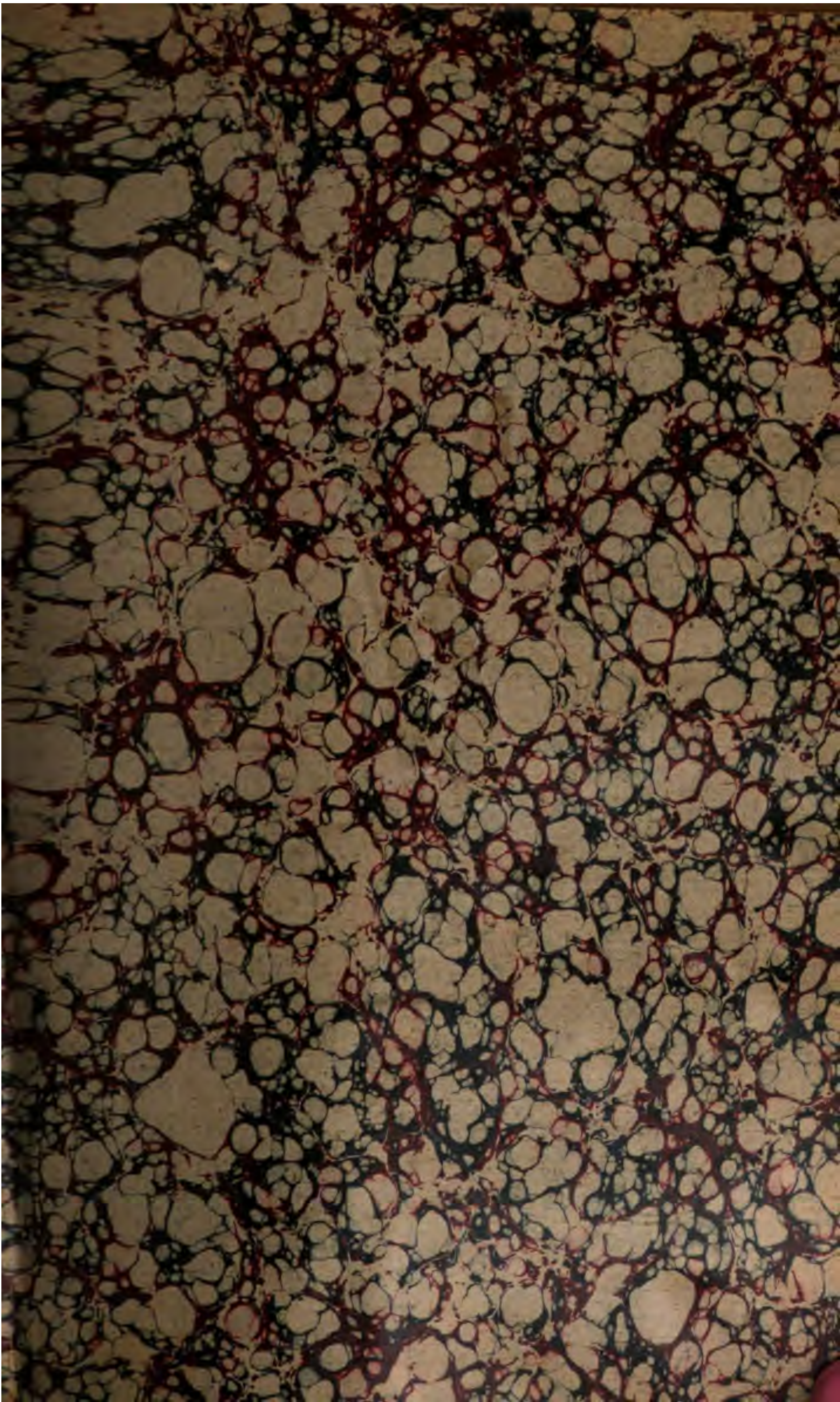





SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE
VE RI TAS



ANNALES

DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont fait partie de droit le directeur du cabinet et du personnel, est composée ainsi qu'il suit:

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XV.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1879

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1879.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

ANDRÉ (C.), G. RAYET et A. ANGOT. — L'Astronomie et les observations en Europe et en Amérique depuis le milieu du XVIII° siècle jusqu'à nos jours; par C. André, G. Rayet et A. Angot. 5° partie. Observations d'Italie; par G. Rayet; professeur d'astronomie physique à la Faculté des sciences de Bordeaux. In-12 jésus, VIII-212 p., avec fig. 4f,50. (3865)

DORMOY (E.). — Théorie mathématique des assurances sur la vie; par Émile Dormoy. 2 vol. in-8°, XV-641 p. 20 fr. (4243

DUHAMEL (J. M. C.). — Des méthodes dans les sciences de raisonnement; par J. M. C. Duhamel, professeur à l'École polytechnique et à la Faculté des sciences. 2° partie. 2° édit. In-8°, XIV-450 p. 7f,50. (3722)

MICHEL (J.). — Essai sur les diverses mesures de longueur et de superficie employées en France avant l'adoption du système métrique; par M. Jules Michel, ingénieur des ponts et chaussées. Gr. in-8°, 48 p. (132)

SECCHI (A.). — Les Étoiles. Essai d'astronomie sidérale; par le P. A. Secchi, directeur de l'observatoire du Collége romain. 2 vol. in-8°, XIV-448 p., avec 17 pl. en noir et en couleurs et 63 vign. 12 fr. (1100)

VINTÉJOUX (F.) et J. DE REINACH. — Formules et tables d'intérêts composés et d'annuités. Ouvrage contenant un traité pratique des emprunts et des opérations financières qui s'y rattachent; par F. Vintéjoux, professeur agrégé de mathématiques au lycée Saint-Louis, et Jacques de Reinach. 2° édition, revue et augmentée. In-8°, VIII-177 p. 6 fr. (5269)

2° *Chimie. — Physique.*

Annales télégraphiques. 3° série. T. V. Année 1878. In-8°, 655 p., avec fig. 12 fr. (4975)

Annuaire des mines et de la métallurgie françaises, publié par Ch. Jeanson, ingénieur civil des mines. 3° et 4° années. 1878-1879. Gr. in-8° à 2 col., IV-497 p. et pl. 6f,50. (1674)

BRIAND (J.), E. CHAUDÉ et J. BOUIS. — Manuel complet de médecine légale, ou Résumé des meilleurs ouvrages publiés jusqu'à ce jour sur cette matière, et des jugements et arrêts les plus récents, etc.; par J. Briand, docteur-médecin de la Faculté de Paris, et Ernest Chaudé, avocat à la cour d'appel de Paris; et contenant un Traité élémentaire de chimie légale, dans lequel sont exposées les applications de l'analyse chimique et du microscope aux principales expertises criminelles, civiles et commerciales; par J. Bouis, professeur de toxicologie à l'École supérieure de pharmacie de Paris. 10° édit., avec pl. gravées. T. I. Gr. in-8°, 791 p. (4808)

CHASTAING (P.). — Action de l'air et de la lumière sur les médicaments chimiques; par P. Chastaing, pharmacien de l'hôpital de la Pitié, docteur ès sciences. In-4°, 128 p. (4531)

CHATEAU (T.). — Fabrication du papier. Étude pratique pour servir à l'histoire chimique du collage et de la charge du papier; par Théodore Chateau, chimiste. In-8°, 51 p. 2f,50. (1747)

COZE. — Étude comparative sur le pouvoir éclairant du gaz et de l'électricité. Conférence faite à Reims, le jeudi soir 27 février 1879, devant MM. les membres de l'Académie nationale de cette ville, par M. Coze, directeur de la compagnie du gaz. In-8°, 15 p., et 19 pl. (5049)

DU MONCEL (T.). — L'Éclairage électrique; par le comte Th. Du Moncel, membre de l'Institut. In-18 jésus, 320 p., avec 70 fig. 2f,25. (4849)

Eaux minérales et eaux potables de la France analysées au bureau d'essai de l'École des mines de 1845 à 1877. In-4°, VI-155 p. (886)

ESBACH (G.). — Étude pratique sur le filtre taré et les pesées; par le Dr G. Esbach, chef du laboratoire de chimie médicale à l'hôpital Necker. In-8°, 15 p., avec fig. (5082)

HORSIN-DÉON (P.). — La Distillation; appareils et modes de fabrication les plus en usage et les plus nouveaux; par M. Paul Horsin-Déon, chimiste. Gr. in-8°, 218 p., avec 6 pl. et 21 fig. 5 fr. (100)

MACÉ (M.). — Traité pratique et raisonné de pharmacie galénique (cours professé à l'École de médecine et de pharmacie de

Rennes); par M[lle] Macé, professeur à l'École. In-8°, VIII-328 p., avec fig. 14 fr. (5939)

Moyret (M.). — Traité de la teinture des soies, précédé de l'histoire chimique de la soie et de l'histoire de la teinture de la soie; par Marius Moyret. In-8°, 681 p. 20 fr. (3209)

Neucourt (L.). — Analyse des terres du bassin de la Meuse dans l'arrondissement de Verdun. Deuxième compte rendu des travaux pour les années 1877-1878, exécutés dans le laboratoire d'essais agricoles, industriels et médicaux de Verdun, présenté à la Société d'agriculture de l'arrondissement de Verdun; par M. L. Neucourt, trésorier de ladite société. In-8°, 210 p. (1902)

Phosphates de chaux de la France analysés au bureau d'essai de l'École des mines de 1845 à 1877. In-4°, VI-39 p. (15 janv.). (1037)

Pierre (J. I.). — Recherches sur la thermométrie et sur la dilatation des liquides; par J.-Isidore Pierre, doyen de la Faculté des sciences de Caen. In-8°, 392 p. (1923)

Planté (G.). — Recherches sur l'électricité; par Gaston Planté, professeur de physique. In-8°, 392 p., avec fig. (3577)

Regnard (P.). — Recherches expérimentales sur les variations pathologiques des combustions respiratoires; par P. Regnard, docteur en médecine, professeur à l'Institut national agronomique. In-4°, 396 p. (159)

Vuillemin (E.). — Les Mines de houille d'Aniche. Exemple des progrès réalisés dans les houillères du nord de la France pendant un siècle; par E. Vuillemin, ingénieur, administrateur de la compagnie d'Aniche. In-8°, 402 p., et atlas in-4° de 15 pl. (1327)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

Braconnier (A.). — Description des terrains qui constituent le sol du département de Meurthe-et-Moselle; par A. Braconnier, ingénieur au corps des mines. In-12, VI-280 p., avec vign. (5899)

Credner. — Traité de géologie et de paléontologie; par Credner, professeur de géologie à l'Université de Leipzig. Traduit sur la 3e *édition* allemande, par R. Moniez, préparateur à la Faculté des sciences de Lille. In-8°, XV-671 p., avec 448 vign. 16 fr. (259)

Gillot (A.) et L. Lockert. — Manuels Roret. Nouveau manuel complet du fondeur de fer et de cuivre, contenant les principaux appareils et les méthodes les plus usitées et les plus nouvelles pour fondre le fer, le cuivre et leurs alliages, etc.; suivi de la fonte des statues et des cloches; par M. A. Gillot et

M. L. Lockert, ingénieurs. Ouvrage accompagné de 8 planches. 2 vol. in-18, VIII-692 p. 7 fr. (4877)

HERMITE (V. H.). — Mécanique terrestre. Notes sur l'unité des forces en géologie, insérées dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences; par M. V. H. Hermite. In-8°, 29 p. (627)

LEMOINE (V.). — Recherches sur les ossements fossiles des terrains tertiaires inférieurs des environs de Reims; par M. Victor Lemoine, professeur à l'École de médecine de Reims. In-8°, 56 p. et 4 pl. (4901)

Explication de la carte géologique de la France, publiée par ordre de M. le ministre des travaux publics. Tome IV. Atlas. 1re partie : fossiles principaux des terrains, par E. Bayle, ingénieur en chef des mines, professeur de paléontologie à l'école nationale des mines. 2e partie : végétaux fossiles du terrain houiller, par R. Zeiller, ingénieur au corps national des mines. Gr. in-4°, 176 pl.

Explication de la carte géologique de la France, publiée par ordre de M. le ministre des travaux publics. Tome IV. 2e partie : végétaux fossiles du terrain houiller, par R. Zeiller, ingénieur au corps national des mines. In-4°, 185 p.

4° *Mécanique. — Exploitation.*

DULOS (P.). — Cours de mécanique à l'usage des écoles d'arts et métiers et de l'enseignement spécial des lycées; par M. Pascal Dulos, professeur de mécanique à l'École nationale d'arts et métiers, à Angers. Troisième partie. In-8°, 417 p., avec fig. 7f,50. (3723)

DUTEIL (P.). — La Métallurgie du fer à l'Exposition universelle de 1878; par Paul Duteil, membre de la Société des ingénieurs civils. In-8°, 303 p. (2543)

LEDIEU (A.) et H. HUBAC. — Les nouvelles machines marines, supplément au Traité des appareils à vapeur de navigation, mis en harmonie avec la théorie mécanique de la chaleur; par A. Ledieu, ancien officier de vaisseau, et H. Hubac, professeur de machines à vapeur sur le vaisseau-école. Ouvrage rédigé, pour la partie pratique, avec le concours de M. Gilbert, premier maître mécanicien. T. II. In-8°, 550 p., avec grav. et atlas contenant 10 pl. et 9 tableaux. 25 fr. (3508)

MATHIEU (E.). — Dynamique analytique; par M. Émile Mathieu, professeur à la Faculté des sciences de Nancy. In-4°, VI-320 p. 15 fr. (4045)

PERNOLET (A.). — L'Air comprimé et ses applicatious; production,

distribution et conditions d'emploi; par M. A. Pernolet, ingénieur. In-8°, XI-598 p., 6 tableaux et 3 pl. (29 avril). (5186)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

BAUDOT (A. de). — La Sculpture française au moyen âge et à la Renaissance. Ouvrage publié sous la direction d'A. de Baudot, architecte du gouvernement, comprenant environ 400 motifs photographiés par Mieusement, photographe attaché à la commission des monuments historiques. Livraisons 1 et 2. In-folio, 2 p. et 30 pl. (5298)

BOURGOIN (J.). — Les éléments de l'art arabe, le trait des entrelacs; par J. Bourgoin, chargé d'un cours d'histoire et de théorie de l'ornement à l'École nationale des beaux-arts. In-4°, 48 p. et 200 pl., dont 10 en chromolithographie. (3056)

Catalogue des échantillons de matériaux de construction réunis, par les soins du ministère des travaux publics, pour la France, à l'Exposition universelle de 1878. Gr. in-8°, VII-439 p. (15 janvier). (829)

CAZENEUVE (A.). — Les Chemins de fer à l'Exposition universelle de 1878; par Albert Cazeneuve. In-8°, 197 p. (2522)

CHARIÉ-MARSAINES. — Mémoire sur les chemins de fer considérés au point de vue militaire; par M. Charié-Marsaines, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. In-8°, 32 p. (3917)

DUVAL (C. L.). — Les Beaux-Arts et les Arts industriels à l'Exposition universelle de 1878. Impressions et notes d'artiste; par Ch. L. Duval, peintre. In-8°, 141 p. (2545)

HUSSON (F.). — La Serrurerie et ses objets d'art; la grosse ferronnerie, les constructions métalliques; par M. F. Husson, architecte. In-8°, 100 p., 8 pl. et 35 fig. 7f,50. (101)

PEREIRE (I.). — La question des chemins de fer; par Isaac Péreire. In-8°, 215 p. (avec 5 cartes indiquant la formation successive des réseaux). 2 francs. (3806)

REBOLLEDO (D. J. A.). — Traité général de construction; par D. José A. Rebolledo, ingénieur en chef et professeur. In-8°, XII-388 p.; accompagné d'un atlas in-4° de 35 pl. doubles. 45 francs. (3241)

ROYOU (A. de). — Traité pratique de la voirie de Paris, comprenant l'examen raisonné des règlements appliqués aux constructions; suivi d'un appendice renfermant dans un ordre chronologique le texte des lois, décrets et ordonnances rendus sur la matière; par A. de Royou, architecte, commissaire-voyer principal de la

ville de Paris. Ouvrage à l'usage des architectes, entrepreneurs et propriétaires. In-8°, XIII-328 p. et pl. 8 francs. (2272)

Série Morel. Prix de base et de règlement applicables aux travaux de bâtiment exécutés en 1879 et 1880; conformes à ceux de la série officielle et administrative des prix de la ville de Paris. *Édition* de 1879-1880. In-4°, 334 p. 10 francs. (5551)

VAUTHIER (L. L.). — Projet de réorganisation des chemins de fer français, réseau national et réseaux régionaux. Projet de loi de rachat et de réorganisation, précédé d'un exposé des motifs, avec deux cartes à l'appui; par L. L. Vauthier, membre du conseil général de la Seine. In-8°, 40 p. 2 francs. (3642)

Visite d'un ingénieur à l'Exposition universelle de 1878. Construction des palais du Champ-de-Mars et du Trocadéro, les différents pavillons, les expositions de : Autriche-Hongrie, Belgique, Espagne, etc. Conférences et congrès. Notes pour servir de souvenir de l'Exposition de 1878, etc. In-8°, 556 p., avec 37 fig. et 7 pl. 15 francs. (3650)

6° *Sujets divers.*

Album des grandes industries et des services maritimes. Guide de l'acheteur dans les centres de production de tous les pays. 2e *édition*, 1878-1879. Gr. in-4° à 2 col., 320 p., avec vign. (5280)

BUCHWALDER (E.). — La Pâte d'alfa, sa fabrication, son avenir; par Édouard Buchwalder, ingénieur civil. In-8°, 29 p. (5012)

DEMONTZEY (P.). — Étude sur les travaux de reboisement et de gazonnement des montagnes; par P. Demontzey, conservateur des forêts. In-4°, VIII-423 p., et atlas de 36 pl. (1771)

FIGUIER (L.). — L'Année scientifique et industrielle; par Louis Figuier. 22e année (1878), contenant le compte rendu de l'Exposition universelle de 1878, avec 1 pl. In-18 jésus, 543 p. et grav. 3f,50. (2838)

MONTAGU (A.). — Cours de philosophie scientifique et ses conséquences sociales; par A. Montagu. In-8°, 272 p. 3f,50. (6207)

WYSE (L. N. B.), A. RECLUS et P. SOSA. — Canal interocéanique. Rapports sur les études de la commission internationale d'exploration de l'isthme américain; par Lucien N. B. Wyse, lieutenant de vaisseau, commandant de l'expédition; Armand Reclus, lieutenant de vaisseau, et P. Sosa, ingénieur d'État. Accompagnés de cartes, de profils et d'un tableau synoptique. (1877-1878.) In-4°, 295 p. (5585)

OUVRAGES ANGLAIS.

Memoirs of the Geological Survey. Géologie de la partie N.-O. de l'Essex et de la partie N.-E. du Herts, par W. Whittaker, W. H. Penning, W. H. Dalton et F. J. Bennett. In-8°. 4f,40.

— Explication de la feuille 87 : géologie des environs de Wakefield et Pontefract ; par A. H. Green et R. Russell. In-8°. 0f,85.

— Géologie du bassin houiller du Yorkshire ; par A. H. Green, R. Russell, J. R. Dakyns, J. C. Ward, C. Fox Strangways, W. H. Dalton et T. V. Holmes. In-8°. 52f,50.

— Sur les manufactures de pierres à fusil, les méthodes d'extraction du silex, l'âge de l'homme paléolithique et la connexion entre l'art néolithique et le commerce de la pierre à fusil ; par J. B. Skertchley. In-8°. 21f,90.

NICHOLSON et ETHERIDGE. *A monograph...* Monographie des fossiles siluriens du district de Girvan dans le comté d'Ayr. In-8°. 9f,40.

Parliamentary. — Railway accidents... Accidents de chemins de fer ; rapports des inspecteurs : juillet-septembre. 6f,25.

— *Railways...* Rapports des inspecteurs : octobre-décembre. 7f,15.

— *Id.* Chemins de fer, freins continus ; rapports pour décembre 1878. 0f,75.

— *Railway...* Signaux de chemins de fer : rapport pour 1878. 0f,85.

— *Mines...* Mines ; rapport des inspecteurs pour 1878. 15f,65.

HARRISON. *Practical geology.* Géologie pratique. In-12. 2f,50.

GRIPPER. *Railway tunnelling...* Creusement des tunnels en terrain difficile. In-4°. 8f,90.

TATE. *Physical geology.* Géologie physique. Nouvelle édition. In-12. 2f,50.

LAMBORN. *The metallurgy...* La métallurgie du plomb et de l'argent. 6e édition. In-12. 3f,15.

Explanatory memoir... Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 34 de la carte géologique de l'Irlande ; par J. Nolan ; avec notes paléontologiques ; par W. H. Baily. In-8°. 2f,50.

Explanatory memoir... Mémoire pour accompagner la feuille 62 et la partie nord de la feuille 73 de la carte géologique de l'Irlande ; par W. F. Mitchell. In-8°. 1f,90.

TESCHEMACHER et SMITH. *On the estimation...* Sur l'estimation de l'acide phosphorique par la magnésie pour les usages commerciaux. In-8°, 32 p. 2f,50.

BOYD. *Coal mines...* L'inspection des mines de charbon, son histoire et ses résultats. In-8°, 268 p. 17f,50.

WARRINGTON SMITH. *A rudimentary treatise...* Traité rudimentaire des mines de charbon et de leur exploitation. In-12. 5 fr.

SPOONER. *Narrow gauge...* Chemins de fer à voie étroite. 2e édition. In-8°. 18f,75.

MILNE. *Notes...* Notes sur la cristallographie. In-8°. 3f,75.

JOULE. *New determinations...* Nouvelles déterminations de l'équivalent mécanique de la chaleur. In-4°. 2f,50. (Extr. des *Philos. Trans. of the Royal Society.*)

WILLIAMSON. *On the organisation...* Sur l'organisation des plantes fossiles du terrain houiller. Partie 9. In-4°. 9f,40. (Extr. des *Philos. Trans. of the Royal Society.*)

OUVRAGES AMÉRICAINS.

KING. *Systematic geology.* Géologie systématique. Washington. In-4°, 804 p.

HOWELL. *The mathematical theory...* Théorie mathématique des déviations de la boussole. Washington. In-8°, VIII-126 p. 12f,50.

OUVRAGES ALLEMANDS.

HEER. *Flora fossilis...* Flore fossile des régions polaires. Zürich. In-4°. 5e vol. 38, 58, 61, 11 et 6 p., avec 45 pl. 50 fr.

—— *Die Urwelt...* Le monde primitif de la Suisse. 2e édition, revue et augmentée. Zürich. In-8°. 2e livraison, p. 81-160. 2f,50.

HEIM. *Untersuchungen...* Recherches sur le mécanisme de la formation des montagnes, comme suite à la monographie géologique du groupe du Tödi et des Windgälle. Bâle. T. II, 246 p. 25 fr.

VAN'T HOFF. *Ansichten...* Considérations sur la chimie organique. 2e livraison. Brunswick. In-8°, p. IX-XVII et 161-291. 5 fr.

NEUMANN. *Beiträge...* Contributions à la théorie des fonctions sphériques. Parties I et II. Leipzig. In-4°, 156 p. 10 fr.

ZITTEL. *Studien...* Études sur les éponges fossiles. 3e partie : Monactinellidæ, Tetractinellidæ, Calcispongiæ. Münich. In-4°,

48 p. et 2 pl. 2f,50. (Extr. des *Abhandl. d. k. bayer. Akad. der Wissenschaften.*)

ZITTEL. *Beiträge*... Contributions à la classification des éponges fossiles. Stuttgart. In-8°, 138 p., 10 pl. 10 fr.

—— *Handbuch*... Manuel de paléontologie, publié avec la collaboration de W. P. Schimper. Münich. In-8°. 1er vol., 2e livrais., p. 129-308. 8f,75.

THIELMANN. *Lehr-und Handbuch*... Traité et manuel des chaudières à vapeur. Fascicules 8-10. Leipzig. In-8°, p. VIII et 97-484. Chaque livraison : 1f,40.

UHLAND. *Die Corliss-und Ventil-Dampfmaschinen.* Les machines à vapeur système Corliss et système à soupapes. Leipzig. In-4°. Livraisons 2-4, p. 41-160, avec 30 pl. Chaque livraison : 15 fr.

ABICH. *Geologische Forschungen*... Explorations géologiques dans les régions du Caucase. 1re partie. Vienne. In-4°, VII, 126 p., avec 11 pl. 25 fr.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. Brunswick. Livr. 28-30. T. III, p. 97-384. Chaque livraison : 3 fr.

LOCKYER, J. NORMAN. *Studien*... Études pour l'analyse spectrale. Leipzig. In-8°, X-231 p., 7f,50.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer; continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 274-281. 330 p., 45 pl. Chaque livraison : 11f,25.

MÖBIUS. *Der Bau*... La constitution de l'*Eozoon canadense*, d'après des recherches spéciales, comparée avec celle des Foraminifères. Cassel. In-4°, 18 p. et 18 pl. 60 fr.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle du monde primitif. Publié par *W. Dunker* et *A. Zittel*. Cassel. In-4°. Suppl. III; 1re livr., 3e fasc., p. 93-146, 5 pl.; 2e livr., 2e fasc., 50 p., 8 pl.; 3e livr., 2e et 3e fasc., p. VI et 53-130, 18 pl., T. XXV (t. Ier de la 3e série), 5e et 6e livraisons, p. 175-194, 18 pl., 172f,50.

J. v. HAUER. *Die Wasserhaltungs-Maschinen*... Les machines d'épuisement des mines. Leipzig. 1re livr. In-8°, 384 p., 14 pl. 35 fr.

MEISSNER. *Die Hydraulik*... L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna. In-8°. T. II : Les turbines et les roues hydrau-

liques. 3e et 4e fasc., p. 113-228, avec 13 pl. Chaque fascicule : 3f,75.

DÖLTER. *Die Producte...* Les produits du volcan Monte-Ferru. Vienne. In-4°, 56 p. 2f,50.

FELLÖCKER. *Die chemischen Formeln...* Les formules chimiques des minéraux exposées en figures géométriques. Linz. In-8°, XXXII-158 p. 3f,75.

ZETSCHE. *Handbuch...* Manuel de télégraphie électrique. Berlin. In-8°. T. IV, 2e livraison, p. 161-320. 4f,75.

BENECKE et COHEN. *Geognostische Beschreibung...* Description géologique des environs de Heidelberg. Strasbourg. In-8°, 1er fasc., X-188 p. 5 fr.

BELCSAK. *Hardy's Vacuum-Bremse.* Frein à vide de Hardy. Vienne. In-8°, 45 p., 8 pl. 5f,65.

V. KERPELY. *Unterscheidungsmerkmale...* Caractères distinctifs de l'acier. Vienne. In-4°, 14 p., 4 pl. 2f,50.

STRIPPELMANN. *Die Petroleum-Industrie...* L'industrie du pétrole en Autriche et en Allemagne. 2e partie : Autriche. Leipzig. In-8°, XIV-238 p., 2 pl. 10 fr.

BACHMANN. *Fossile Eier...* Œufs fossiles de la molasse d'eau douce supérieure des environs de Lucerne. Zürich. In-4°, 7 p., 1 pl. 3 fr. (Extr. des *Abhandl. d. schweizer.-paläontol. Gesellschaft.*)

JENTSCH. *Bericht...* Rapport sur l'exploration géologique de la province de Prusse en 1877. Königsberg. In-4°, 73 p. 3f,75. (Extr. des *Schriften d. physikal.-ökonom. Gesellschaft.*)

DE LORIOL. Monographie paléontologique des couches de la zone à *Ammonites tenuilobatus* de Baden (Argovie). Genève. In-4°, 200 p., 23 pl. 25 fr. (Extr. des *Mémoires de la Soc. paléontol. suisse.*)

RAU. *Die Entwicklung...* Le développement de la chimie moderne.

RUTIMEYER. *Die Rinder...* Les animaux à cornes de l'époque tertiaire, avec une étude sur l'histoire naturelle des Antilopes. 2 parties. Zürich. In-4°, 288 p., 7 pl. 20 fr. (Extr. des *Abhandl. d. schweizer.-paläontol. Gesellschaft.*)

WEYPRECHT. *Die Metamorphosen...* Les métamorphoses de la glace polaire. Vienne. In-8°. Livr. 6-8, p. 153-248. Chaque livraison : 0f,75.

WIEDERSHEIM. *Labyrinthodon-Rütimeyeri. Ein Beitrag...* Contribution à l'anatomie du squelette et du crâne des Labyrinthodons triasiques. Zürich. In-4°, 56 p., 3 pl. 8 fr. (Extr. des *Abhand. d. schweizer.-paläontol. Gesellschaft.*)

WOLDRICH. *Ueber Caniden...* Sur les Canides du diluvium. Vienne.

In-4°, 52 p., 6 pl. 6f,25 (Extr. des *Denkschriften d. k. Akad. d. Wissenschaften.)*

LEHMANN. *Ueber Turbinen...* Sur les turbines, leur construction et leur rendement. Berlin. In-4°, 24 p. 2f,50. (Extr. du *Zeitschrift d. Verein. deutsch. Ingenieure.*)

BITTNER. *Der geologische Bau...* La constitution géologique de l'Attique, de la Béotie, de la Locride et du Parnasse. Vienne. In-4°, 74 p., 6 pl. 8f,75. (Extr. des *Denkschriften d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

MAKOWSKY et TSCHERMAK. *Bericht...* Rapport sur la chute de météorites de Thieschitz en Moravie. Vienne. In-4°, 18 p., 5 pl. 3f,75. (Extr. des *Denkschriften d. k. Akad. d. Wissenschaften.)*

MARTIN. *Die Tertiärschichten...* Les couches tertiaires de Java. Partie paléontologique. 1re livraison : Univalves. Leyde. In-4°, III-89 p., 14 pl. 21f,25.

NEUMAYR. *Der geologische Bau...* La constitution géologique de l'ouest de la Grèce centrale. Vienne. In-4°, 40 p. 2f,50. (Extr. des *Denkschriften d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde...* Paléontologie de l'Allemagne. 1re part., t. VI; fasc. 1 et 2, avec un atlas de 6 pl. Leipzig. In-8°, p. 1-336. Chaque fascicule : 18f,75.

SCHÜLER. *Neue Theorie...* Nouvelle théorie des imaginaires dans le calcul des fonctions et la géométrie analytique. Freising. In-4°. 56 p., 1 pl. 5 fr.

SCHWIRKUS. *Ueber die Differentialgleichungen...* Sur les équations différentielles du mouvement relatif d'un point matériel sur une courbe tournante. Berlin. In-8°, 35 p. 1f,25.

WINCKLER. *Aeltere und neuere Methoden...* Méthodes anciennes et récentes pour résoudre des équations différentielles linéaires par des intégrales définies simples. Vienne. In-8°, 106 p. 2f,75.

CZERNIN. *Ideen...* Idées pour la construction des locomotives. Prague. In-8°, 81 p. 2 fr.

UTIESENOVIC. *Die Naturschätze...* Les richesses naturelles de la Croatie septentrionale, avec une carte géologique. Vienne. In-8°, 86 p. 3f,75.

BEDE. *Ueber Brennmaterial...* De l'économie du combustible, avec considérations sur l'installation des chaudières à vapeur. 1re moitié. Berlin. In-8°, 144 p. 3f,15 (Extr. des *Glaser's Ann. f. Gewerbe u. Bauwesen*).

WACHLER. *Vergleichende Qualitäts-Untersuchungen...* Recherches comparatives sur la qualité des fontes rhénanes-westphaliennes

et des fontes étrangères. Berlin. In-folio, 35 et 69 p., avec 4 pl. 10 fr. (Extr. des *Glaser's Ann. f. Geverbe u. Bauwesen*.)

OUVRAGES RUSSES.

ROMANOWSKI. Matériaux pour la géologie du Turkestan. 1re partie : Saint-Pétersbourg. In-4°, VIII-167 p. 31f,25.

MININ. Sur l'énergie de la chaleur. Moscou. In-8°, 99 p. 4f,40.

OUVRAGES ITALIENS.

MANZONI. *Gli echinodermi...* Les échinodermes fossiles des marnes (*Schlier*) des collines de Bologne. Vienne. In-4°, 16 p., 4 pl. 3 fr. (Extr. des *Denkschriften d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

LANDRIANI. *Principii...* Principes de calcul infinitésimal. Rome. In-16, XIX-326 p.

La fabbricazione... La fabrication du fer en Styrie, Carinthie, Lombardie, et le renouvellement du traité de commerce italo-autrichien. Côme. In-8°, 20 p.

BAZZI e COBIANCHI. *Sullo sviluppo...* Sur le développement des courants induits et des extra-courants. Pise. In-8°, 26 p., 1 pl. (Extr. du *Nuovo Cimento*.)

CURIONI. *Sulle ferrovie...* Sur les chemins de fer d'accès du Simplon et du Saint-Gothard. Novare. In-8°, 100 p.

OMBONI. *Le nostre Alpi...* Nos Alpes et la plaine du Pô; description géologique du Piémont, de la Lombardie, de la province de Trente, de la Vénétie et de l'Istrie. Milan. In-8°, XII-496 p. 4f,50.

BASSANI. *Ricerche...* Recherches sur les poissons fossiles du miocène moyen de Gahard (Ille-et-Vilaine) en France. Padoue. In-8°, 32 p. (Extr. des *Atti d. Societa Veneto-Trentina d. scienze naturali.*)

CASTELLI. *Ferrovia d'accesso...* Chemin de fer d'accès au Saint-Gothard. Milan. In-4°, 26 p., 1 pl.

BIGLIA. *Prima relazione...* Premier rapport au ministre des travaux publics (Direction générale des chemins de fer) sur les études de la commission chargée d'obtenir l'uniformité et l'amélioration des types de matériel roulant sur les chemins de fer italiens. Rome. In-4°, 48 p.

Biglia. *Seconda relazione...* Second rapport sur les études de la commission chargée d'obtenir l'uniformité et l'amélioration des types du matériel de la voie et de la suprastructure des chemins de fer. Rome. In-4°, 50 p.

Baretti. *Sui rilevamenti...* Sur les relèvements géologiques faits dans les Alpes piémontaises durant la campagne de 1877. Rome. In-4°, 10 p., 1 pl. (Extr. des *Atti d. R. Accad. dei Lincei.*)

Ciofalo. *Alcune osservazioni...* Quelques observations sur le miocène de Ciminna. Rome. In-8°, 8 p. (Extr. du *Bull. d. R. Comit. geologico.*)

De Zigno. *Sopra un nuovo sirenio...* Sur un nouveau sirénien fossile découvert dans les collines de Bra en Piémont. Rome. (Extr. des *Atti d. R. Accad. dei Lincei.*)

—— *Annotazioni...* Notes paléontologiques; additions à l'ichthyologie de l'époque éocène. Venise. In-4°, 14 p., avec 3 pl. (Extr. des *Mem. d. R. Istituto Veneto.*)

Gastaldi. *Sui rilevamenti...* Sur les relèvements géologiques faits dans les Alpes piémontaises durant la campagne de 1877. Rome. In-4°, 12 p., avec 2 pl. (Extr. des *Atti d. R. Accad. dei Lincei.*)

Taramelli. *Sulla formazione...* Sur la formation serpentineuse de l'Apennin de Pavie. Rome. In-4°, 58 p., 2 pl. (Extr. des *Atti d. R. Accad. dei Lincei.*)

—— *Descrizione...* Description géologique du margraviat d'Istrie. Milan. In-16, 196 p., avec une carte géologique de l'Istrie et des îles du Quarnero.

Capici. *Da Vizzini...* De Vizzini à Licodia ; notes géologiques. Syracuse. In-8°, 36 p.

—— *Studii...* Études sur la géologie des environs de Vizzini. Catane. In-4°, 23 p.

Ruffini. *Dell'equilibrio...* De l'équilibre des polygones plans de forme variable. Bologne. In-4°, 22 p. (Extr. des *Mem. d. Accad. delle scienze.*)

Bottiglia. *Il nuovo motore...* Le nouveau moteur à explosion de gaz. Turin. 1f,50.

Castelfranco. *Le stazioni...* Les stations lacustres des lacs de Monate et de Varano. Milan. In-8°, 37 p. av. 1 pl., (Extr. des *Atti d. Soc. Ital. d. scienze naturali.*)

—— *Stazione...* Station de l'âge de la pierre de l'île des Cyprès, sur le lac de Pusiano, et sépultures de Montorfano di Como. *Reggio-Emilia.*

Giletti. *Studio...* Étude sur le développement des réseaux géodésiques. Rome.

Relazione... Relation de l'éruption de l'Etna de mai-juin 1879, par les ingénieurs du corps des mines attachés au relèvement de la zone soufrière de Sicile. Rome. In-8°. 7 p., 1 carte. (Extr. du *Bull. d. R. Comit. geologico.*)

ANNALES
DES MINES

MÉMOIRE

SUR

LE CALCAIRE CARBONIFÈRE
ET LES FILONS DE PLOMB DU DERBYSHIRE

Par M. Léon LECORNU, ingénieur des mines.

Dufrénoy et E. de Beaumont ont publié en 1837, dans leur *Voyage métallurgique en Angleterre*, une courte description de la région métallifère du Derbyshire. Après avoir montré quelles difficultés y présente la théorie des filons plombeux, interrompus de place en place par des intercalations de roches éruptives, ils exprimaient le désir que les faits, un peu mieux connus, permissent de vérifier leurs hypothèses. Suivant le conseil de M. de Chancourtois, j'ai entrepris, en 1876, de visiter ce pays et de réunir en même temps les travaux dont il a été l'objet de la part des géologues anglais. Malheureusement, l'état d'abandon dans lequel sont tombées, pour des raisons qu'il nous sera facile d'établir, la plupart des mines du comté, en a détourné l'attention, malgré leur intérêt géologique, et a été pour moi-même une source de grandes difficultés. J'ai pu faire néanmoins quelques observations personnelles, et, en y ajoutant les renseignements épars dans différents ouvrages, j'ai obtenu un ensemble de faits dont j'ai essayé l'explication.

La description la plus complète, au point de vue minéralogique, est encore aujourd'hui celle que J. Farey a donnée, en 1811, dans son ouvrage : « *A general view of the agriculture and minerals of Derbyshire.* » En 1869, le *Geological Survey* a fait paraître un mémoire intitulé : « *The geology of the carboniferous limestone, Yoredale rocks and millstone grit of North Derbyshire and the adjoining part of Yorhshire.* » Il n'y est parlé qu'incidemment des filons, et sans aucun essai de coordination. Mais la partie stratigraphique est étudiée avec grand soin, ainsi que l'intercalation des roches éruptives dans le calcaire carbonifère. La carte du *Geological Survey* donne, sur les faits de direction, des indications qui m'ont été d'un grand secours. J'ai emprunté à Phillips, de la Bèche, Wallace, etc., quelques aperçus généraux. Enfin, le petit ouvrage intitulé : « *Hand book to the geology of Derbyshire, by the rev. J. Magens Mello, M. A., F. G. S.* » m'a été fort utile sur le terrain.

Les conclusions auxquelles je suis parvenu et dans l'exactitude desquelles je crois pouvoir mettre confiance, développent bien plus qu'elles ne modifient les idées de Dufrénoy et E. de Beaumont.

PREMIÈRE PARTIE.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE.

Le calcaire carbonifère forme, dans le Derbyshire, une sorte de plateau central autour duquel s'échelonnent les formations plus récentes suivant des courbes à peu près parallèles. Il est complétement entouré par le millstone grit. Puis vient le terrain houiller, qui se divise en deux branches : la branche de l'est, ou bassin du Derbyshire et du Yorkshire ; — la branche de l'ouest, ou bassin du Lan-

cashire. Toutes les deux s'enfoncent au sud sous le trias pour se rejoindre en profondeur et affleurer de nouveau autour des pitons siluriens de Dudley, non loin de Birmingham. Au Nord, elles se terminent toutes les deux à la grande faille E.-O. de Bradford et Halifax.

Dans la région occupée par le calcaire carbonifère, le relief général est arrondi comme celui des pays crayeux, et les points les plus hauts ne dépassent pas 450 mètres au-dessus du niveau de la mer. Mais cette surface quelque peu monotone est découpée par des vallées étroites et profondes, à parois fortement inclinées et parfois complétement verticales, qui contrastent d'une manière frappante avec le reste de la contrée. Ces vallées portent le nom de Dales. Elles proviennent sans doute de fissures verticales ouvertes dans les masses compactes du calcaire, et élargies ensuite par l'action des eaux, les éboulements continuant à se faire par plans verticaux. Les nombreuses cavernes qui forment l'une des curiosités du pays doivent avoir une origine analogue.

Les hauteurs, dans le millstone grit, s'élèvent à 550, parfois à 600 mètres. Elles dominent donc celles du calcaire carbonifère. Ce fait provient peut-être de ce que les calcaires ont subi à la fois des actions chimiques et mécaniques, tandis que les actions mécaniques ont seules pu agir sur les grès. Les schistes du millstone grit ont conservé des affleurements assez raides; au contraire les grès forment des pentes plus douces, partant du fond de chaque vallée pour recouvrir les schistes situés immédiatement au-dessous (Pl. I, *fig.* 1).

Le Derbyshire est traversé, dans sa partie septentrionale, par une ligne de soulèvement dirigée à peu près N.-O., qui forme l'extrémité méridionale de la grande chaîne Pénine du nord de l'Angleterre. Cette ligne rejette toutes les eaux du comté vers le versant oriental, où elles se réunissent en trois rivières : la Derwent, le Don, la Dove, qui finalement

aboutissent à l'Humber. Quelques ruisseaux seulement vont, sur le versant occidental, grossir la Goyt et l'Etherow, affluents de la Mersey.

Le tableau suivant donne la liste de tous les terrains reconnus dans le Derbyshire.

Terrains récents.	Alluvions, tufs, stalactictes, etc.		
— postpliocène.	Diluvium, dépôts de cavernes, moraines glaciaires, etc.		
— triasique.	Keuper.	marnes rouges.	
		grès du keuper.	
	Bunter.	Conglomérats.	
		grès inférieur.	
— permien.	supérieur, marnes rouges et calcaires.		
	inférieur, grès, marnes, etc.		
— houiller.	Coal measures.	supérieures ou moyennes.	
		inférieures ou ganister.	
	Millstone grit.	1.	Grès.
			Schistes.
		2.	Grès.
			Schistes.
		3.	Grès.
			Schistes.
		4.	Grès de Kinderscout.
— carbonifère.	Yoredale rocks.	Schistes.	
		Grès de Yoredale.	
		Schistes, calcaire noir.	
	Calcaire carbonifère.	calcaires et toadstones, avec veinules de schistes et d'argiles.	

Nous ne dirons rien des formations supérieures, qui n'ont aucun rapport avec les filons; et nous nous bornerons à décrire succinctement le millstone grit et le calcaire carbonifère.

Millstone grit.

Le grès supérieur, ou Rough roch, est le terme le plus constant; sa puissance moyenne est de 30 mètres. Il est dur et massif; parfois il s'en va en miettes. Le deuxième grès n'a généralement que 6 à 12 mètres de puissance. Tous les terrains compris entre le deuxième et le troisième grès présentent d'un point à l'autre les plus grandes variations dans leur puissance et leur composition. Le troisième grès forme un niveau bien défini, mais de composition également variable. Au centre du district, c'est une roche dure, à gros grains, de couleur rouge, dont les escarpements se reconnaissent aisément. Vers le Nord, les grès

deviennent de plus en plus fins et passent finalement à une série de dalles et de schistes. Vers le Sud, les grains deviennent également fins, mais la roche est tendre et la structure schisteuse ne s'y développe pas. Le *Geological Survey* résume ces variations par le diagramme reproduit dans la Pl. I, *fig.* 2.

Ces trois types de roches se rapportent aux conditions différentes des fonds de mer dans lesquels ils ont été déposés. Les recherches de M. Sorby ont montré que le grès dur a été vraisemblablement formé dans une partie peu profonde où sont venus s'accumuler les éléments lourds et volumineux; il pense en outre que le courant qui les a amenés coulait à partir du N.-E., c'est-à-dire dans la direction même qu'occupe la bande de grès grossier, le long d'une proéminence qui se serait étendue depuis le terrain en désagrégation jusqu'à la partie centrale de l'Angleterre. Les plus fins correspondraient au contraire à des enfoncements qui diminuaient la force du courant et ne lui permettaient d'amener jusqu'à place que des sables légers.

Le grès de Kinderscout présente, du Nord au Sud, des variations du même genre, mais plus complexes. Les alternances de texture fine et de texture grossière se reproduisent plusieurs fois. Ce grès constitue, dans la partie septentrionale du comté, un plateau élevé et isolé, de forme triangulaire, entouré de rochers sauvages et de gorges profondes. On le nomme *le Peak*. C'est une sorte de témoin dont la conservation est attribuée, par le *Geological Survey*, à la forme concave que présentent les couches sur lesquelles il repose, et qui a rendu impossibles les glissements le long des plans de stratification.

Yoredale Rocks.

Cette formation, qu'on peut considérer comme une transition entre le calcaire carbonifère et le millstone grit, pré-

sente, à l'ouest de la grande ligne anticlinale, la composition suivante :

1. Groupe supérieur. . . .	Schistes. Yoredale grit. Schistes avec lits minces de calcaires.
2. Groupe moyen (ou Yoredale sandstone). . . .	Grès durs, à grains serrés ; çà et là, quartzites semi-cristallins, avec lits puissants de schistes noirs.
3. Groupe inférieur.	Schistes noirs, avec lits minces et nodules de calcaire marneux.

Le terme le plus important du groupe supérieur, le Yoredale grit, s'observe parfaitement autour du Peak et atteint en ce point une puissance de 150 à 180 mètres. Il constitue un plateau annulaire à 150 mètres au-dessous du plateau central de millstone grit. Le long des flancs des vallées, on remarque de petites terrasses qui dessinent les affleurements des schistes.

Le Yoredale sandstone, dont la puissance, dans le Staffordshire est évaluée à 600 mètres, ne dépasse pas dans la vallée d'Edale 60 à 120 mètres. Souvent il est difficile à distinguer du groupe supérieur.

Le groupe inférieur se compose : en haut, de schistes noirs avec quelques nodules de calcaires marneux qui renferment des goniatites ; — à la base, de couches marneuses qui semblent devenir plus pures à mesure qu'on descend vers le calcaire carbonifère.

Calcaire carbonifère.

La puissance totale est inconnue, mais elle est certainement très-grande. A la partie supérieure, les calcaires sont disposés en couches minces, quelque peu marneuses, avec nodules siliceux (cherts). Au-dessous, on atteint des masses puissantes de calcaire. Par-dessous encore l'état massif disparaît et l'on trouve des lits calcaires alternativement minces et épais.

La composition est loin de rester constante. Tantôt on rencontre des variétés de couleur foncée, mêlées de matières argileuses et bitumineuses. Tantôt, comme près de

Matlockbath, la texture est entièrement cristalline et le calcaire contient une forte proportion de carbonate de magnésie. D'autres fois, la couleur est rendue rougeâtre par du sesquioxyde de fer. Les fossiles caractéristiques permettent dans tous les cas de reconnaître la formation du calcaire carbonifère; mais il n'est pas aisé d'établir des divisions bien nettes. On serait même fort embarrassé si une circonstance toute particulière, à savoir la présence des *toadstones* ne venait fournir des points de repère précieux.

Toadstone.

On désigne sous ce nom une sorte de lave augitique, composée d'augite, de feldspath triclinique, de fer oxydulé, et souvent d'olivine, d'apatite, etc., qui forme plusieurs couches distinctes au milieu du calcaire carbonifère. Souvent elle renferme des amygdales partiellement remplies par des cristaux de calcite et d'autres minéraux. Près d'Ashover, sa couleur est d'un vert terreux, caractéristique, et elle contient des cristaux de pyrite de fer ou de quartz, des veinules de calcite fibreuse et d'hématite. A Tideswell Dale, elle tourne à l'état d'argile altérée, rappelant beaucoup certains tufs volcaniques. Par l'action combinée de la chaleur et de la pression, ce tuf a pris une structure colonnaire. Dans quelques localités, le caractère de *scorie* est aussi frappant que pour beaucoup de laves actuelles. Dans plusieurs autres, la roche possède la dureté et la compacité du basalte. Mais son état le plus général est celui d'une cendre agglomérée.

L'origine ignée des toadstones ne fait pas le moindre doute, seulement le nombre des couches est encore incertain. Le *Geological Survey* reconnaît, avec les anciens géologues, que dans beaucoup d'endroits il y a trois couches bien distinctes; mais souvent ces couches s'amincissent et disparaissent, et la continuité générale est au moins douteuse.

Outre les trois lits principaux, on rencontre des toadstones accidentels.

Les toadstones sont loin de s'interstratifier régulièrement dans le calcaire. A 400 mètres au sud du village de Kniveton, on les voit même affleurer au milieu du Yoredale, comme l'indique la Pl. I, *fig.* 3.

En quelques points, le toadstone acquiert une puissance extraordinaire. C'est ainsi qu'à Tideswell Moor, un puits de mine (Black hillock) l'a traversé sur une longueur de 180 mètres sans en trouver la limite, tandis que dans sept mines avoisinantes, la puissance variait de $3^m,60$ à $34^m,20$. Il semblerait résulter de là qu'à Black Hillock, on est tombé juste sur un des canaux par lesquels la roche éruptive est venue au jour.

Il est rare qu'une nappe de toadstone soit homogène dans toute son épaisseur. Dans une coupe fournie par le midland railway, entre Buxton et Monsal Dale, on a observé une masse de toadstone, de 30 mètres de puissance, dont voici de haut en bas les variations de texture et de couleur :

1. Argile jaune tendre ;
2. Toadstone d'un vert olive foncé, à l'aspect cendreux, avec parties amygdaloïdes, et masses arrondies jaunâtres, d'une grande dureté ;
3. Toadstone de même couleur que le précédent, mais plus solide ;
4. Toadstone schisteux, avec concrétions ;
5. Toadstone gris foncé, dur, à grains fins ;
6. Toadstone tendre, à aspect concrétionné.

Les calcaires inférieur et supérieur ne sont nullement altérés au contact de la roche éruptive.

Ce qui précède montre qu'il faut apporter de grandes réserves dans l'emploi des toadstones comme horizons géologiques. Faute de mieux, on les adopte cependant, et l'on admet que le massif calcaire présente en moyenne la composition suivante :

1er calcaire,	puissance	....	45 mètres
1er toadstone,	id.	....	18 id.
2e calcaire,	id.	....	45 id.
2e toadstone,	id.	....	27 id.
3e calcaire,	id.	....	62 id.
3e toadstone,	id.	....	27 id.
4e calcaire,	id.	....	indéfinie

Si, quittant le plateau du Derbyshire, nous remontons vers le nord en suivant les crêtes de la chaîne Pénine, nous trouvons que de grandes variations se produisent dans la constitution du calcaire carbonifère et des terrains subordonnés. Les schistes et grès de Yoredale se confondent avec le millstone grit. Les calcaires perdent de leur puissance. Les toadstones s'amincissent et disparaissent. En revanche, on voit se développer au sein des calcaires de nombreuses couches de grès et de schistes, souvent d'une grande puissance. On voit en outre apparaître le whin, roche dure et massive, de couleur brune, disposée en lits minces et irréguliers, renfermant des nodules feldspathiques, roche bien connue dans le bassin de Newcastle, et qui pourrait bien n'être qu'une modification des toadstones.

Soulèvements, failles.

Lorsqu'on se place au centre du plateau calcaire, on voit les couches plonger en tous sens vers l'extérieur, mais spécialement vers l'ouest et vers l'est, et aller s'enfoncer de toutes parts sous les Yoredale rocks. Celles-ci sont à leur tour recouvertes par le millstone grit, après avoir occupé une zone rendue très-irrégulière par les plissements, les failles, les accidents de toute sorte. La bande de millstone grit est tout aussi tourmentée, et après elle on atteint les couches houillères inférieures. Malgré ces dérangements, la distance de l'axe anticlinal à la limite inférieure des coal measures est à peu près la même sur les deux flancs du plateau, parce que le plongement, plus accentué du

côté de l'ouest que du côté de l'est, est compensé, vers l'ouest, par une plus grande puissance moyenne.

En partant de Weaver hills, qui forme l'encoignure S.-O. du plateau, et contournant celui-ci en passant par l'ouest. le nord et l'est, nous trouvons que tantôt le calcaire carbonifère disparaît par l'effet naturel du plongement, tantôt au contraire il est brusquement interrompu par une série de failles et de replis, si bien que de plusieurs côtés il existe un contact direct du calcaire carbonifère et du nouveau grès rouge. A Weaver hills, les Yoredale rocks *ont* été conservés, et ce sont les couches supérieures du calcaire carbonifère qui font défaut. La même chose *a lieu* entre Hartington et Buxton (limite N.-O. du plateau). Au delà du Buxton, on retrouve presque partout la limite naturelle. Au nord entre Dovehole et Castleton, le calcaire est frangé par la partie inférieure des schistes de Yoredale au-dessus desquels il s'élève par une série d'escarpements. Vers l'est, les découpures sont plus profondes, et l'on rencontre une baie fort accentuée dans laquelle se développe le kinderscout grit. Enfin, au sud, de Wirksworth à Weaver hills, la limite est en partie naturelle, en partie formée par des failles.

Pour donner une idée de la complication des accidents observés sur la bordure occidentale du plateau, je reproduis, d'après le *Geological Survey*, dans la Pl. I, *fig.* 4, un exemple où les schistes, coupés par des failles, pénètrent comme un coin dans les calcaires. A Ludwell, le calcaire, se relevant brusquement vers l'ouest, monterait par dessus les schistes de Yoredale, s'il n'était interrompu par une faille.

Dans l'intérieur du plateau calcaire, les failles proprement dites sont remplacées par les filons. Cependant on trouve encore des failles stériles, comme dans la caverne de High tor, près Matlock bath. Cette caverne est déterminée par une fissure de 180 mètres de long et 45 mètres de haut, élargie vers sa base.

Le plateau central est accompagné de quelques massifs subordonnés, d'une bien moindre importance. Celui de Crich hill, à l'est de Matlock, est le plus intéressant. C'est une sorte de dôme elliptique qui s'élève au milieu des roches de Yoredale. Vers l'est, le plongement de ses couches, assez faible, finit par mourir dans la plaine environnante. Vers l'ouest et le sud-ouest, le calcaire se termine par des parois à pic qui dénotent l'existence de deux failles.

A partir du massif carbonifère, les couches plus récentes présentent une série d'ondulations parallèles à l'axe central, qui sont principalement marquées dans la région occidentale. Une première ligne de dépression, appelée par Farey *Goyt Trough*, du nom de la rivière Goyt qui en parcourt la partie septentrionale, traverse dans la direction N.-S. le Derbyshire, puis le Staffordshire jusqu'à Leek et à Cheadle. Plus loin, vers l'ouest, lui succède la faille anticlinale de Forest Chapel et Westley rocks, dessinant au nord de Macclesfield une longue bande de coal measures, qui peut être considérée comme la limite du bassin du Lancashire. Les ondulations se continuent jusqu'à la faille appelée *Red rock fault*, qui passe par Stockport et Congleton, amenant sur le terrain les formations permienne et triasique.

Entre Hartington et le Goyt Trough, s'élève le piton isolé de Sheen hill, constitué par les grès inférieurs du millstone grit. Il est en partie entouré par une ride saillante de Yoredale grit. Ce point singulier est au centre du réseau de failles dont il a déjà été parlé (Pl. I, *fig.* 5).

A l'est du plateau principal, les ondulations sont bien moins nettes. On peut cependant les constater encore.

Au sud, s'étendent des plaines régulières occupées par les schistes et calcaires de Yoredale. De ce côté, les actions mécaniques ont été peu importantes. — Au nord, le haut plateau de Peak forme le trait le plus saillant de la strati-

graphie, et tend à imprimer aux lignes de soulèvement une direction E.-O. Le millstone grit dessine une longue ride saillante suivant cette orientation, et la vallée d'Édale, qui sépare le Peak du plateau calcaire, lui est sensiblement parallèle ainsi que les crêtes hautes de 450 mètres au-dessus du niveau de la mer, par lesquelles elle est bordée.

Le *Geological Survey* a étudié en détail les directions des failles dans le troisième grès du millstone grit, aux environs de Stannage Edge. Cette localité a été choisie à cause de la puissance et de la netteté qu'y présente le troisième grès et de la régularité des joints qui le divisent en blocs grossièrement prismatiques, facilement observables dans les escarpements des vallées. Les directions obtenues, au nombre de 150 environ, ont été reportées sur un même cercle de comparaison. Les auteurs de ce travail en ont tiré cette seule conclusion, que les joints se répartissent en deux groupes, et montrent une tendance à se ranger dans deux directions, à peu près N.-E. et S.-E., qui correspondent précisément au plongement et à la direction des couches. Les N.-E. sont les moins nombreux, mais ils s'écartent moins que les seconds de leur direction moyenne. A vrai dire, il me semble probable que les joints S.-E., dont les limites extrêmes sont E. 20° S. et S. 78° S., représentent au moins deux systèmes différents.

Nous ne chercherons pas à approfondir davantage la question des directions empreintes dans les terrains post-carbonifères. Mais il est intéressant de rappeler à cet égard l'opinion d'Élie de Beaumont (*Systèmes de montagnes*, pages 274 et suivantes).

« Le millstone grit couvre généralement les massifs de Crossfell et du Derbyshire, et y forme souvent les points culminants; mais le terrain houiller proprement dit ne s'élève nulle part dans ces hautes régions. Il me paraît donc naturel de conclure que le soulèvement qui a imprimé à ces deux massifs leurs traits fondamentaux a été produit

entre le dépôt de millstone grit et celui du terrain houiller. D'où il suit qu'il se rapporte par son âge, comme par sa direction, au système du Forez. »

Plus loin (page 322), Élie de Beaumont s'occupe des soulèvements postérieurs au terrain houiller, et il écrit :

« Le massif carbonifère du Derbyshire, abstraction faite de quelques légers festons, se termine carrément près de Nottingham par deux lignes droites qui se croisent à peu près à angle droit. L'une parallèle à la stratification du terrain houiller et au système du N. de l'Angleterre, court au N. 5° O. Elle est bordée par le grès rouge, le magnesian et le nouveau grès rouge. L'autre, dirigée O. quelques degrés S. parallèlement au système des Pays-Bas, est bordée seulement par le nouveau grès rouge, postérieur au magnesian limestone. Mais le grès rouge et le magnesian ne se sont déposés ni le long de cette dernière ligne, ni même en aucun point de la dépression qui borne la troncature méridionale du Derbyshire. On constate donc deux accidents perpendiculaires :

1. Nord de l'Angleterre, antérieur au grès rouge.

2. Pays-Bas, postérieur au grès rouge et au magnesian, mais antérieur à la partie subséquente de la formation du nouveau grès rouge. »

Il n'a pas été question jusqu'ici des soulèvements empreints dans le plateau carbonifère. Il est évident *a priori*, que les systèmes qui ont agi sur les formations postérieures au calcaire ont dû influer plus ou moins sur ce dernier. On peut en outre s'attendre à y trouver le système de Ballons, qui se place par son âge entre le calcaire carbonifère et le millstone grit. Mais le nombre de ces systèmes rend les vérifications difficiles, et nous avons déjà vu en effet que le pourtour du plateau est en partie dessiné par des fractures fort irrégulières. La venue des toadstones a pu contribuer, de son côté, à embrouiller les phénomènes. La *fig.* 2, Pl. II, qui représente leurs affleurements dans la région du N.-O.

montre à quel point leur influence a dû être irrégulière. En parlant des filons, j'essayerai néanmoins de dégager quelques conclusions.

Dans son oüvrage sur le calcaire carbonifère du Yorkshire, qui se rattache à celui du Derbyshire par sa proximité et ses analogies étroites. Phillips indique une série de directions observées dans divers terrains, depuis le vieux grès rouge jusqu'au calcaire magnésien. Les résultats sont plus nets que pour le Derbyshire. Les deux directions prédominantes sont N. 22°.5 O. et E. 22°.5 N., elles sont donc perpendiculaires, et peuvent se rattacher au système du Forez.

Phillips s'est livré en outre, sur l'âge des soulèvements, à des considérations que M. Moissenet, dans son mémoire sur le Flintshire, a reproduites et discutées. Je me borne à renvoyer à ce dernier travail (*Annales des mines*, 1857).

Aperçu géogénique.

La grande puissance du calcaire carbonifère, dont la limite n'est pas encore connue, a conduit les géologues anglais, M.W. Wallace en parliculier, à admettre que durant le dépôt de ce terrain, le fond des mers a subi des affaissements; et d'après la continuité et le parallélisme des couches, ils pensent que ces affaissements ont dû être progressifs. Cette théorie est analogue à celle que É. de Beaumont a adoptée pour expliquer la concavité du bassin de Paris, mais le mouvement serait ici la conséquence d'une rupture produite à peu près dans l'axe de la chaîne pénine. M. Wallace remarque en effet, dans son ouvrage sur Alston Moor, que si on établit les équivalences avec un soin suffisant, on trouve à l'est de cette chaîne, dans le Northumberland, le Yorkshire, le Derbyshire, des épaisseurs de couches assez constantes, tandis qu'à l'ouest, dans le Westmoreland, le Cumberland, et même le Flintshire, la

puissance moyenne est beaucoup moindre. Il en résulte que la vitesse d'affaissement était inégale des deux côtés de la chaîne, ce qui conduit à l'idée d'une fracture opérée suivant son axe. Ainsi, tandis que dans le bassin de Paris l'affaissement a eu lieu par courbes concentriques, dans le nord de l'Angleterre il s'est produit parallèlement à une certaine direction. Cette direction, antérieure au calcaire carbonifère, a été probablement renouvelée plus d'une fois par les systèmes postérieurs.

Si l'on admet que les dépôts calcaires devaient être d'autant plus purs que la vitesse d'affaisement était plus considérable, parce qu'alors les sédiments sableux et argileux produits par la destruction des côtés et les deltas des rivières ne pouvaient s'étendre bien loin dans une mer trop profonde, la pureté du calcaire inférieur montre qu'au début de la période carbonifère, alors que la ligne de fracture venait seulement de s'ouvrir, l'enfoncement était plus rapide qu'à la fin.

Mais le dépôt du calcaire carbonifère a été troublé à plusieurs reprises par des phénomènes violents, dont les *toadstones* sont restés la preuve palpable. On peut se demander si les toadstones sont contemporains du calcaire, sur lequel il se seraient répandus en forme de nappes, comme les *basaltes*, ou bien s'ils ne sont pas venus plus tard, pénétrant entre les lits par une sorte d'intrusion. D'après de la Bêche (*Géological observer*), la première hypothèse est la plus vraisemblable. Il cite des cas où la surface supérieure du *toadstone* a été remaniée par l'action des eaux. On trouve même des fragments de la roche éruptive dans les calcaires supperposés. En outre, la forme de lentilles amincies sur les bords que présentent les couches peu étendues, suggère bien l'idée d'une nappe fluide qui aurait librement coulé sur un plan horizontal ou dans des bassins peu accusés.

D'autre part, MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont avaient

remarqué, en 1826, que le peu de régularité des surfaces qui limitent les toadstones, par dessus et par dessous, porterait à les regarder comme des masses intercalées. É. de Baumont, dans les *Systèmes de montagnes*, page 283, cite l'opinion du professeur Sedgwick, qui leur assigne de même une origine relativement récente :

« M. le professeur Sedgwick prouve directement, dans le mémoire qu'il a consacré à la structure de cette chaîne (la chaîne pénine), que toutes les fractures ci-dessus mentionnées ont été produites immédiatement avant la formation des conglomérats du nouveau grès rouge, *rothe todte liegende*, et il présente les plus fortes raisons pour penser qu'elles ont été occasionnées par une action à la fois violente et de courte durée; car on passe sans intermédiaire des masses inclinées et rompues aux conglomérats *qui s'étendent* sur elles horizontalement, et il n'y a aucune trace qui puisse indiquer un passage lent d'un ordre de *chose* à l'autre. Enfin, M. le professeur Sedgwick, recherchant quelle pourrait être l'origine des phénomènes décrits, indique les différentes roches cristallines qui se montrent en contact avec les roches de la série carbonifère (*le toadstone du Derbyshire* et le *whinstone* du Cumberland). L'élévation de la chaîne du N. de l'Angleterre n'a probablement pas été un phénomène isolé; mais si l'on jette un coup d'œil sur la carte géologique de l'Angleterre... on est naturellement conduit à remarquer qu'une partie des roches éruptives qui percent et qui disloquent les dépôts houillers de Shrewsbury, de Coal Brook Dale, de Dudley, de Lower-Lickey et celles qui forment l'axe des Malvern hills, paraissent liées à une série de dislocations qui courent presque du sud au nord, se prolongent à travers les couches de transition récentes et les couches de la série carbonifère, jusqu'aux environs de Bristol. »

M. Wallace remarque, de son côté, que l'espace occupé par les *toadstones* dans leur intrusion, avait été rempli de

calcaire puisque cet espace est pris aux dépens de la puissance des calcaires restants. L'argument est peu convaincant, car ce résultat s'expliquerait fort bien en supposant que, sur un fond accidenté par les coulées de *toadstones*, le calcaire se soit déposé horizontalement. Mais la présence des *toadstones* à Kniveton au milieu des couches de Yoredale (exemple cité) montre qu'ils sont au moins postérieurs au calcaire carbonifère proprement dit. C'est l'avis auquel s'est rangé, en définitive, le *Geological Survey*.

Tout en reconnaissant la valeur des arguments présentés en faveur de la seconde hypothèse, il est difficile de concevoir l'intrusion des *toadstones* en forme de nappes *étendues*, comme cela à lieu dans certains cas. J'admettrais donc volontiers que les *toadstones* les plus réguliers ont été produits pendant le dépôt même du calcaire : ce sont ceux dont parle de la Bèche. Les autres sont venus plus tard, après des périodes de calme analogues à celles des volcans actuels, mais sans doute beaucoup plus longues. Les volcans actuels permettent aussi de s'expliquer comment l'intrusion a pu se produire. Souvent les parois de l'ajutage volcanique se crèvent sous l'action de la pression intérieure, et la lave, s'écoulant par les nouveaux orifices, ne parvient pas à s'élever jusqu'au cratère principal. Les *toadstones* ont probablement crevé les parois de la fissure par laquelle ils étaient amenés. Mais au lieu de couler au jour, ils se sont intercalés dans les plans horizontaux de moindre résistance.

Phillips, dans son ouvrage sur le Yorkshire, a étudié avec soin les éruptions de whin sill, qui, sous beaucoup de rapports, rappellent celles des *toadstones*. Il repousse l'idée d'une intrusion dans les calcaires déjà formés en s'appuyant principalement sur ce que, d'après lui, les intrusions auraient dû se faire aussi bien par les joints verticaux que par les joints horizontaux. Cette objection est assez sérieuse; néanmoins on peut répondre que parmi les joints

verticaux existant dès cette époque, les seuls qui soient bien étudiés sont les filons remplis antérieurement à l'intrusion. Les filons qui n'étaient pas encore remplis n'ont pu l'être plus tard s'ils se sont trouvés obstrués par le *toadstone*, et rentrent par suite dans la classe des failles stériles, mal étudiées. Observons d'ailleurs que dans un cas au moins, dans celui de Kniveton, l'intrusion verticale paraît bien établie. Phillips signale lui-même l'existence de dykes basaltiques recoupant le terrain houiller et même les formations oolithiques. Il conclut en disant que les éruptions se sont produites à plusieurs époques. C'est l'opinion que j'adopte, mais tandis que pour Phillips toutes les instrusions se sont faites verticalement, et les nappes horizontales sont toutes de vraies coulées, je pense, avec le *Geological Survey*, que, dans le Derbyshire au moins, il y a eu des intrusions horizontales.

La fin de la période du calcaire carbonifère a été marquée par une convulsion dont on ne saurait guère préciser la direction. Les failles nombreuses qui délimitent le plateau sur une grande partie de son contour, sans que les couches aient subi une inclinaison sensible, semblent indiquer que ce plateau a été porté brusquement, par un mouvement d'ensemble, à une hauteur plus ou moins grande qui a pu favoriser les intrusions latérales des roches éruptives. — La période houillère a été ensuite marquée, outre les éruptions de *toadstones*, par des actions mécaniques d'une grande importance qu'on peut rattacher aux systèmes du Forez et du N. de l'Angleterre (N-20°. 3' O et N-6°. 29' O à Alston Moor) Ces deux systèmes, dont l'un a simplement renouvelé l'autre, ont imprimé dans la contrée la série d'ondulations qui s'étendent des deux côtés du plateau carbonifère, et forment le trait caractéristique de sa stratigraphie.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE DES FILONS.

Directions.

Les filons du Derbyshire n'occupent pas, dans le terrain carbonifère, la même position que les fractures stériles. Celles-ci sont toutes réparties avec une grande irrégularité sur le pourtour du plateau : elles ressemblent, comme complication, aux éclats produits dans une vitre par un choc de vitesse modérée, tandis que les filons, ouverts dans les parties où les couches ont à peine perdu leur horizontalité, sont susceptibles d'observations comparées. La carte du *Geological Survey* représente un très-grand nombre de filons, de longueur et de direction variables. Pour obtenir un résultat d'ensemble, j'ai rapporté toute les directions, suivant la méthode ordinaire, à une origine unique. Puis, afin de tenir compte, autant que possible, de *l'importance* de chaque direction, ou si l'on veut, de son poids, j'ai porté sur chaque direction, à partir du centre, des longueurs égales à celles que donne la carte. Quand il y avait plusieurs filons parallèles, j'ai ajouté leurs longueurs. Dans les cas où j'observais un faisceau de filons *presque* exactement parallèles, j'augmentais en conséquence, *au jugé*, la longueur portée sur la direction moyenne. Le procédé le plus logique consisterait, dans ce dernier cas, à appliquer les règles de la composition des forces, mais il serait difficilement applicable.

Ayant remarqué que les directions tracées sur la carte tendaient à varier avec les régions, j'ai commencé par diviser le calcaire carbonifère en trois zones E-O., comprenant des portions à peu près équivalentes. La première va

depuis la limite Nord jusqu'au parallèle de Buxton. La seconde descend de ce parallèle à celui de Sheen hill. La troisième va de là à la limite méridionale. Pour chaque zone, j'ai construit, comme il vient d'être dit, une série de rayons vecteurs, dont j'ai réuni les extrémités par un trait continu, en corrigeant les petites variations. D'ailleurs la courbe se dessinait d'elle-même, d'une façon beaucoup plus continue qu'on ne l'aurait cru *a priori*.

Les résultats de ce travail sont représentés dans les quatre tableaux (Pl. II, *fig.* 3). Le quatrième est un résumé des trois autres : chaque rayon vecteur est la moyenne arithmétique des rayons vecteurs de même direction.

Pour établir la comparaison avec les systèmes de montagnes, je me suis servi du tableau calculé pour Alston Moor, dans le Cumberland (sommet du *Crossfell* : longitude 4° 55′ O de Paris, latitude 54° 45′ N).

Je suis redevable de ce tableau à M. Lodin, ingénieur des mines. Les coordonnées du centre du plateau calcaire du Derbyshire étant à peu près : longitude 4° O de Paris, latitude 53° 20′, l'erreur commise m'a semblé négligeable.

Directions rapportées à Alston Moor (calculées de 0 à 180°).

SYSTÈME.	DIRECTION.	DISTANCE au cercle du réseau.
	dg. m.	dg. m.
Rhin	11,43	9,8
Longmynd	21,16	6,47
Mont Serry	29,56	9,6
Alpes occidentales	30,5	9,14
Côte-d'Or	41,25	8,35
Primitif de Lisbonnne	48,7	8,9
Westmoreland	50,54	13,15
Erymanthe	52,32	11,48
Sancerrois	60,7	12,43
Alpes principales	67,51	14,55
Finistère	70,34	5,53
Tatra	77,29	10,31
Pays-Bas	77,31	4,58
Tatra (M. Pomel)	83,59	19,15
Lands End	84,15	4,2
Ballons	97,34	1,59
Pyrénées	103,40	11,58
Thuringenwald	119,41	1,35
Morbihan	128,2	2,57
Mont-Serret	134,47	6,46
Mont-Viso	144,37	1,14
Ténare	154,52	3,49
Vendée	156,20	1,13
Forez	159,3	1,2
Corse-Sardaigne	169,6	7,57
Nord de l'Angleterre	173,31	8,18
Vercors	177,26	6,12

Les conclusions que je tire de cette étude sont les suivantes :

1° Du Nord au Sud, les orientations varient, de telle sorte que le tableau d'ensemble est celui qui présente la moins grande netteté ;

2° Le secteur 0° — 50° E. est presque entièrement privé de filons, ce qui exclut entre autre le système du Rhin, le Westmoreland et l'ancien système du Longmynd ;

3° La direction E.-O. ne correspond non plus à aucun filon ;

4° La zone septentrionale est marquée, d'une façon très-nette, par le système des Ballons et par celui des Pays-Bas. La direction N. 85° E., assez bien dessinée, paraît un renouvellement du Lands end. Les directions N.-S. ne présentent qu'une importance secondaire ;

5° Dans la zone moyenne, le Nord de l'Angleterre se trouve exactement marqué. On voit en outre apparaître, dans la direction N. 50° O. ou N. 140° E., un système qu'on peut considérer comme une déviation du *Forez, produite* sous l'influence des *Ballons*. Aucun système connu ne rentre avec exactitude dans cette direction. *On pourrait* tout au plus la considérer comme une perpendiculaire à la Côte-d'Or; mais celle-ci paraît un système beaucoup trop jeune pour être admissible.

Les directions N.-S. ont réciproquement dévié les filons E.-O., qui sont entièrement renfermés dans l'angle *obtus* des Ballons et des Pays-Bas;

6° Dans la zone méridionale, l'importance du N.-S. diminue de nouveau. Il en résulte que les filons E.-O., surtout ceux des Pays-Bas, se rapprochent de leur *position* moyenne. Les filons N.-S. sont totalement déviés du côté du système des Ballons.

Phillips, dans son ouvrage sur le Yorkshire, avait déjà dit un mot des variations de direction que je viens d'établir; mais les directions moyennes qu'il signale, sans doute au simple jugé, me paraissent bien inexactes. D'après lui, les filons du Derbyshire sont N.-N.-E. dans la partie septentrionale, et S.-S.-E. dans la partie méridionale. J'ai fait voir, au contraire, qu'il n'y a pas de filons N.-N.-E., et que les filons S.-S.-E. n'ont une certaine netteté que dans la partie moyenne.

Il est assez remarquable que le système des Ballons, que nous trouvons empreint dans les filons d'une façon palpable, fasse absolument défaut dans les directions relevées par le *Geological Survey* pour le millstone grit. C'est une conséquence naturelle de l'âge de ce système, qui est placé précisément entre le millstone grit et le calcaire carbonifère.

En plusieurs endroits, les filons se rencontrent dans les Yoredale rocks et le millstone grit. Presque toujours, ce sont de simples prolongements des filons ouverts *dans le*

calcaire. Parfois, mais c'est le cas le plus rare, les filons qui se prolongent ainsi appartiennent au système des Ballons. Il faut alors admettre qu'il y a eu une réouverture.

Allure des filons.

Grâce à la faible inclinaison et à la compacité des couches calcaires, les filons présenteraient sans doute des allures fort régulières, si les intrusions de toadstones n'avaient amené des complications spéciales. Il en est résulté une grande variété de gisements caractérisés par des termes qu'il importe de définir. Considérons, avec de la Bèche, Pl. II, *fig.* 4, une série de calcaires *a*, *a'*, *a''*, etc., et un lit *b* de toadstone interposé. L'expérience apprend que les fissures peuvent être distinguées en deux classes : les unes, *v*, *v'*... presque verticales, traversant tous les lits, même le toadstone — les autres, *n*, *n'*, normales aux couches, traversant rarement le toadstone. On rencontre en outre des cavités irrégulières *c*, *c'*, *c''*, assez analogues aux cavernes visitées aujourd'hui par les touristes, et qui peuvent contenir, comme les fissures précédentes, des matières utiles. Enfin, il arrive que celles-ci pénètrent en certains cas dans les plans de stratification.

Les joints verticaux.	se nomment. . . .	rakes
Id. normaux.	id.	scrins
Les cavités irrégulières.	id.	pipes
Les intercalations dans les lits. .	id.	flat works

Les deux dernières catégories ne peuvent être l'objet d'aucune description générale. Elles sont essentiellement irrégulières. Les *pipes* sont mis en communication avec les carneaux d'émanation par des conduits étroits, qu'on peut considérer comme des *rakes* ou des *scrins* d'ordre secondaire. Ils s'allongent presque toujours suivant une direction horizontale. Les *flat*, beaucoup plus rares, aboutissent à des *pipes* ou à des *rakes*. Parfois ils semblent complétement

isolés. D'après M. Wallace, ils correspondraient à des parties décomposées du calcaire. Le même auteur cite l'opinion de W. Hooson, publiée en 1747 : « Les *flat* se lient au filon et courent longtemps avec lui. Il est observé par les anciens mineurs que toujours le *flat* se trouve du côté du filon en regard de l'eau. » L'observation me paraît fort discutable, et je la reproduis à titre de simple curiosité.

Les *rakes* paraissent les véritables carneaux par lesquels sont arrivées les émanations. Les autres espaces n'ont pu être enrichis que par suite de leurs communications avec ceux-ci; mais la distinction entre les *rakes* et les *scrins*, fort nette en théorie, est assez confuse en pratique. Rarement les *rakes* sont tout à fait verticaux, ils présentent au contraire une tendance marquée à s'infléchir normalement aux couches. On ne peut dire non plus, d'une façon absolue, que les rakes traversent toujours le toadstone, tandis que les scrins ne le traversent jamais. En 1837, Dufrénoy et Élie de Beaumont écrivaient : « dans 19 mines sur 280, les filons se prolongent à travers le toadstone. » La proportion des filons *qui traversent* est restée à peu près aussi faible et cependant les *rakes* sont de beaucoup les filons les plus nombreux. En réalité, les mineurs donnent le nom de *rake* à toute veine riche qui présente une constance et une régularité suffisantes. Ils appellent *scrins* les filons d'une moindre importance. Ainsi définis, les *rakes* ont une tendance à s'orienter de l'Est à l'Ouest, tandis que les *scrins* jouent le rôle de croiseurs. Les croiseurs n'ont pas en général d'autre effet que de produire dans le filon un enrichissement local. Néanmoins il y a quelques exemples de rejets. On trouve même des filons qui s'arrêtent brusquement à la rencontre d'une faille, ou bien se divisent en deux ou plusieurs branches.

Lorsqu'un filon est complétement interrompu par un lit de toadstone, les effets varient avec la puissance de ce filon. Les veines minces sont coupées avec netteté, tandis

que les veines plus importantes pénètrent jusqu'à une certaine profondeur dans la roche éruptive, mais en se rétrécissant rapidement, ou bien en se ramifiant. Il se produit ainsi un cas intermédiaire entre celui de l'interruption et celui de la pénétration parfaite. Il est rare qu'un filon interrompu par le toadstone ne présente pas, de part et d'autre, des différences notables dans sa puissance et dans sa nature. On observe même des rejets assez considérables pour avoir parfois donné lieu à des procès sur l'identité d'un filon.

Quand le filon, au contraire, a produit un rejet dans le toadstone, celui-ci est broyé le long de la fissure. C'est ce qui arrive, par exemple, dans la mine de Mill close (Pl. II, *fig.* 5). Le filon, de largeur très-irrégulière, s'amincit au point où il atteint le toadstone, et se trouve remplacé par un brouillage du toadstone, puis par une sorte de coin, formé de calcaire cristallin. La partie calcaire qui, suivant une certaine hauteur, fait vis-à-vis au toadstone, présente une surface polie accusant un frottement énergique.

A Great Hucklow, dans des circonstances analogues, le remplissage du filon contient des fragments de calcaire et de toadstone.

Les schistes produisent toujours un amincissement notable. Parfois, comme dans la mine de Bage, près de Cromford, le filon disparaît presque complétement. Néanmoins on ne voit jamais les schistes anéantir, comme les toadstones, toute trace du filon.

Il ne semble pas qu'en passant d'une couche à une autre, les filons éprouvent des réfractions analogues à celles qu'on observe dans d'autres districts. Cela résulte sans doute de ce que les filons sont à peu près normaux à la stratification. En revanche, les variations de puissance sont considérables, aussi bien dans le sens de la normale aux couches que suivant la direction. Dans la mine de Great Hucklow, au niveau « 66 fathoms », on voit la puissance augmenter rapi-

dement de 2 ou 3 centimètres jusqu'à 30 et plus. Tous les filons ont une tendance à s'amincir en profondeur, et aujourd'hui la puissance moyenne peut être évaluée à 3 ou 4 centimètres.

Remplissage.

J'emprunte à l'ouvrage de Magens Mello la liste suivante de minéraux rencontrés dans les filons :

I. — Éléments natifs.

Argent. — Soufre (?). — Cuivre (?). — Or (?).

On dit avoir trouvé des traces d'or dans le toadstone, près de Bakewell.

II. — Composés arséniés et sulfurés.

Arséniures (?).
Sulfures de fer (pyrite et marcassite).
Id. de cuivre (chalcopyrite).
Id. de plomb (galène).
Id. de zinc (blende).
Id. de zinc et de fer (marmarite).

III. — Composés d'éléments halogènes.

Fluorure de calcium.

IV. — Oxydes.

Oxydes de fer (Limonite, hématite, magnétite).
Id. de plomb (matlockite : oxychlorure).
Id. de manganèse. (Wad).
Silice (quartz et jaspe).

V. — Carbonates.

Carbonate de chaux (aragonite, nombreuses variétés de calcite).
Id. de plomb (cérusite).
Id. de zinc (calamine).
Id. de magnésie (dolomie).
Id. de cuivre (malachite, azurite).
Id. de baryte (withérite).

VI. — Silicates.

Feldspaths, micas, argiles.
Silicate de zinc (smithsonite et variété cadmifère).

VII. — Sulfates.

Sulfate de chaux (gypse, anhydrite).
Id. de baryte (barytine, variétés stalactitiques).
Id. de magnésie (epsomite).
Id. de plomb (anglésite).

VIII. — Phosphates.

Phosphate de plomb (pyromorphite).

IX. — Arséniate.

Arséniate de cuivre (tamarite).

La galène est de beaucoup le minerai le plus important. Elle est un peu argentifère, assez peu cependant pour que, depuis longtemps, on ait renoncé à faire la désargentation. La richesse, en effet, ne dépasse pas $\frac{1}{10000}$ ou au maximum $\frac{1}{10000}$. La galène est cristallisée en cubes, à grandes parties. On y trouve, paraît-il, de temps en temps, des prismes à base carrée ou hexagonale. Mais ce fait demanderait confirmation. Suivant sa taille, sa pureté, sa structure, elle porte un grand nombre de noms. Par exemple, le leaf ore (minerai-feuille) est ainsi nommé parce que sa cassure rappelle la feuille d'épine. Le steel grained a la finesse de grain de l'acier, etc.

Le carbonate de plomb, ou white lead, fut longtemps abandonné par les mineurs, qui le prenaient pour un spath stérile. Ce carbonate paraît provenir, dans certains cas, de la transformation lente du sulfure par les actions atmosphériques. En reprenant d'anciennes haldes (*) on a trouvé que les petits fragments de galène étaient complétement changés en carbonate, tandis que les morceaux les plus gros n'avaient subi qu'une transformation partielle. A Brassington, une transformation analogue s'observe dans des morceaux de minerais mêlés à des limons qui paraissent appartenir à l'époque tertiaire. On y trouve aussi du phosphate de plomb. Dans la mine de Golden Valley, le phosphate se rencontre jusqu'à des profondeurs de 45 mètres et plus. Il va sans dire que l'anglésite se rencontre

(*) De la Bèche rapporte (*Geological observer*) qu'on a découvert, en 1777, à Cromford Moor, des saumons de plomb portant une inscription d'après laquelle ils auraient été fondus sous l'empereur Adrien, c'est-à-dire vers l'an 130.

également, comme produit d'altération, dans un grand nombre de mines.

Les minerais de zinc, qui viennent par ordre d'importance après les minerais de plomb, sont la blende et la calamine. L'une et l'autre se trouvent principalement sur le pourtour du plateau calcaire, ou même dans la ceinture de Yoredale rocks, comme à Matlock, Cromford, Ashover, Castleton, etc. La blende (black jack) est le plus souvent rejetée comme un produit sans valeur, tandis que la calamine est exploitée au voisinage de Cromford.

Le cuivre n'apparaît que rarement, et en quantité presque insignifiante. La mine de Cumberland, à Matlock, a fourni quelques échantillons. On a fait autrefois une exploitation notable de minerai de cuivre dans la mine d'Ecton (Staffordshire), mais le gisement est épuisé. Les veines se détachant du filon cuivreux, sous forme de branchements nombreux et peu étendus, contenaient exclusivement du plomb.

Les autres matières métalliques sont tout à fait exceptionnelles. Il y a sous ce rapport beaucoup moins de variété que dans le Cornwall. Le fait est général pour les filons qui traversent le calcaire carbonifère (Flintshire et Durham), tandis que ceux du Cumberland et de Lead hills (Écosse), qui traversent les schistes anciens, ne le cèdent pas en variété à ceux du Cornwall.

Le remplissage stérile est remarquable par la présence constante du sulfate de baryte et du spath fluor. Le premier est le plus souvent en mamelons hémisphériques blancs (cawk). Le spath fluor est incolore ou jaunâtre; son éclat perlé le fait rechercher comme pierre d'ornement. Une variété spéciale, violette ou bleue, porte le nom de Blue John. Elle se trouve dans la mine du même nom, à Castleton, formant des filons fort irréguliers, tantôt allongés horizontalement (flat), tantôt plongeant verticalement (rake). Les épontes sont recouvertes de deux couches

concrétionnées de spath fluor bleuâtre. Dans l'intervalle se trouve une argile d'un brun rouge, renfermant des cristaux de spath fluor jaune, des nodules de sulfate de baryte, et, çà et là, des masses de blue john concrétionnées comme l'agate, avec des couches concentriques de teintes différentes. Des nodules semblables pénètrent dans le calcaire encaissant. Celui-ci, au contact de la veine, devient par places sensiblement bitumineux. Le blue john possède une assez grande valeur.

La calcite est moins fréquente que le sulfate de baryte et le spath fluor. Son état le plus ordinaire est celui de masse lamellaire, différant tout à fait comme aspect de la calcite d'Alston Moor. Ce fait paraît se lier à une variation dans la composition moyenne du remplissage, qui devient plus riche en quartz à mesure qu'on marche vers le Nord. Le quartz est rare dans le Derbyshire.

Pour compléter l'étude des matières filoniennes, il faut mentionner les sources minérales, qui sont surtout abondantes aux environs de Buxton. Leur température moyenne est de 28° centigrades. D'après le Dr Lyons Playfair, elles contiennent, à 16° centigrades :

	milligr.	
Silice	10,00	par litre
Oxyde de fer, alumine	3,60	
Carbonate de chaux	116,55	
Sulfate de chaux	34,80	
Carbonate de magnésie	58,10	
Chlorure de magnésium	1,71	
Chlorure de sodium	36,30	
Chlorure de potassium	37,50	
Fluorure de calcium	traces	
Phosphate de chaux	traces	
Total	298,56	

A 28° centigrades on estime qu'elles contiennent en outre $0^{lit},770$ d'azote et $0^{lit},076$ d'acide carbonique. Des sources chaudes ont été également trouvées dans beaucoup de mines. On connaît quelques sources sulfureuses.

« Ma propre expérience confirme certainement ce qui a été fréquemment avancé : à savoir que nos filons sont, règle générale, plus *puissants* et plus *productifs* dans les calcaires supérieurs que dans les calcaires inférieurs. »

Nous pouvons citer comme exemple la mine de Pearsons Venture, à Crich Hill, qui fut d'abord exploitée avec grand profit jusqu'à 144 mètres. Là, on entra dans le toadstone : le filon devint presque stérile. Au bout de 20 mètres, on retrouva le calcaire, et le filon reprit sa richesse. Mais, arrivé à 210 mètres, on le vit s'appauvrir définitivement, et comme la venue d'eau ne cessait au contraire d'augmenter, on ne tarda pas à l'abandonner. La mine de Glory, située aussi dans le voisinage de Crich Hill, a traversé des phases toutes semblables. Le toadstone a été trouvé entre les niveaux 54 et 71. La production, après avoir été très-forte dans le calcaire supérieur, s'est affaiblie vers la profondeur de 240 mètres, et les nouvelles recherches sont restées sans succès. Enfin, dans la mine de Old end, on a creusé jusqu'à 270 mètres, après avoir traversé le toadstone vers la profondeur de 90. La diminution graduelle du rendement a fini par décourager les explorateurs, qui ont renoncé à aller plus loin.

Outre cette variation d'ensemble, il y a, d'une couche de calcaire à la voisine, de grandes différences de richesse. Les calcaires noirs sont plus productifs que les blancs. Les calcaires magnésiens, d'un jaune brunâtre (dunstone), durs et granulaires, passent pour être très-riches en plomb et en calamine. De la Bêche observe cependant que certains bancs magnésiens sont défavorables.

Bien que les schistes ne renferment en général aucune matière utile, on connaît des filons qui conservent leur richesse au milieu des schistes noirs chargés de matières carbonifères. Mais c'est un cas exceptionnel, et il est encore plus rare que les grès surmontant les schistes contiennent du minerai en quantité appréciable. Près de Moor Hall

Bridge, deux filons ont été jadis exploités dans les schistes *houillers* inférieurs. On voit encore sur le sol des haldes qui contiennent une forte proportion de galène. Celle-ci est mêlée avec des fragments d'une sorte de grès dur à grains fins, colorés par une matière qui pourrait être le manganèse. Cette roche semble avoir formé le remplissage principal, qui différerait ainsi d'une façon remarquable du remplissage des filons traversant les calcaires.

La mine de Gregory, près d'Ashover, est ouverte dans les grès et schistes de Yoredale, et dans le premier calcaire. La puissance du Yoredale Rocks s'élève en cet endroit à plus de 200 mètres. Les schistes contiennent du minerai aussi bien que le calcaire. Par exception, ce minerai renferme des traces d'antimoine. On y trouve aussi des pyrites de fer argentifères. La mine de Dale, près Warslow (Staffordshire), est presque entièrement dans les schistes. Elle renferme de fortes quantités de plomb, et un peu de cuivre. Il en est de même à Gang, Mill close, etc. Dans beaucoup de ces mines, le calcaire est accompagné, au voisinage du schiste, par du bitume élastique ou du pétrole, imprégnant la roche ou occupant des sortes de géodes.

Les toadstones, lors même qu'ils sont nettement traversés par les filons, sont très-défavorables à la richesse. On peut les comparer sous ce rapport aux greenstones du Devon et du Cornwall, qui appauvrissent les filons d'étain, de cuivre et de plomb. Néanmoins, beaucoup d'exploitations ont été poursuivies dans cette roche avec profit. MM. Dufrénoy et E. de Beaumont, ayant visité la mine de Sevenrakes, près Hightor (aujourd'hui abandonnée), écrivaient en 1837 : « A Sevenrakes, le filon éprouve un changement notable en entrant dans le toadstone. Ce n'est plus un seul filon bien réglé, comme dans le calcaire, c'est un assemblage de petits filons assez parallèles; très-rapprochés; mais on y trouve un peu de galène, et la gangue y

est de même nature que dans le calcaire. » Un fait analogue se produit à la mine de Side, dans celles de Gang, près Cromford, de High rake, près Tideswell, etc.

Dans les cas où une bonne proportion de galène a été trouvée dans le toadstone, on a remarqué que le filon présentait, dans les calcaires voisins, une richesse exceptionnelle. Quand les filons sont stériles dans le toadstone, on y trouve souvent, néanmoins, du calcaire spathique. La même chose arrive, suivant Wallace, pour les roches basaltiques qu'on rencontre dans les mines de la Tyne. Les filons traversant ces roches renferment du calcaire spathique et un peu de carbonate de fer, mais pas de minerai de plomb.

La répartition du zinc est assujettie aux mêmes lois que celle du plomb ; mais le zinc, toujours en proportion secondaire, disparaît avant le plomb. Les calcaires supérieurs et magnésiens, qui sont les plus riches en plomb, sont aussi ceux qui renferment le zinc. Par suite du léger bombement des couches et des phénomènes de dénudation, les calcaires supérieurs font défaut au centre du plateau. Aussi est-ce sur le pourtour que se rencontrent, comme nous l'avons vu, les filons blendeux.

Le cuivre n'a guère été rencontré, comme le zinc, que dans les calcaires supérieurs. On l'a trouvé aussi dans les schistes de Yoredale. Le fer constitue une véritable rareté. Cependant, les calcaires inférieurs renferment parfois des minerais oxydés, tandis que les calcaires supérieurs et les schistes contiennent de la pyrite, accompagnée dans certains cas de manganèse ou d'antimoine.

La répartition des métaux dans les divers étages paraît, en résumé, être la suivante :

Schistes. . .	Grès de yoredale. Un peu de plomb, de cuivre, de zinc. Traces d'antimoine, pyrite argentifère, etc.
1er calcaire.	Beaucoup de plomb et de zinc, manganèse et pyrites, cuivre parfois.

2° calcaire. Assez de plomb et de zinc, cuivre, carbonate de fer.
3° calcaire. Un peu de plomb, ocres jaunes et rouges.
4° Calcaire. Plomb parfois, oxydes de fer.

On peut conclure de ce tableau :

1. Que la variété des métaux augmente avec l'élévation du niveau;
2. Que, par suite de cette variété, le plomb est à la fois plus abondant et moins pur dans les étages du haut que dans ceux du bas;
3. Que le fer tend à se pyritiser à mesure qu'on s'élève dans la série.

En mettant à part la calcite, qui pourrait bien résulter de l'action des émanations filoniennes sur les calcaires encaissants, on trouve une gangue composée de sulfate de baryte et de fluorure de calcium. Les équivalents sont :

$$BaSO^4 = 116,6; \quad CaFl = 38,8.$$

Le rapport est presque rigoureusement 3/1. D'autre part, le carbonate de fer qui a été trouvé dans le 2° calcaire, et dont la décomposition peut avoir donné lieu aux oxydes du 3° et du 4°, a pour équivalent 58, dont le double donne 116. L'équivalent 120 de la galène se rapproche de 116, tout en en différant sensiblement.

Dans cet ordre d'idées, on peut remarquer que l'équivalent moyen des matières formant le remplissage tend à s'élever à mesure qu'on monte dans la série des couches. On a, par exemple :

$$2FeS^2 = 110, \quad AgS = 124, \quad 2ZnCO^3 = 125,$$
$$\tfrac{1}{2} Sb^2S^3 = 154 \quad 2Cu^2S = 158.$$

On pourrait s'attendre, d'après cela, à voir le quartz, dont l'équivalent, triplé, donne le nombre 135, apparaître dans la gangue des parties supérieures. Ce fait ne se produit pas dans le Derbyshire; mais à Alston-Moor, les gangues sont à la fois quartzeuses et pyriteuses, et ce district, voisin du Derbyshire, auquel il est tout à fait comparable pour la nature des terrains, l'influence des roches

éruptives, l'allure et la direction des filons, semble ainsi correspondre à une transformation du remplissage qui commence seulement à apparaître dans les couches supérieures du Derbyshire.

Dans les mines du Flintshire, on ne trouve, d'après le mémoire de M. Moissenet (*Annales des mines*, 5ᵉ *série*, tome XI), que des minerais de plomb et de zinc. Les gangues dominantes sont la chaux carbonatée et l'argile *jaune*; celle-ci abonde surtout dans les Cross-courses. Il y a là un ensemble de conditions qui se rapprochent plutôt de celles du Derbyshire que de celles d'Alston-Moor. Néanmoins, les différences sont grandes : dans le Flintshire, les filons sont moins inclinés, les systèmes anciens du Morbihan et du Finistère sont plus marqués. Les roches éruptives font défaut; le remplissage ne contient ni spath-fluor ni sulfate de baryte, la blende se rencontre en profondeur, etc.

En terminant l'étude du remplissage, je crois *devoir* ajouter que Farey, en 1815, a publié une liste complète des mines du Derbyshire. Cette liste n'a plus aujourd'hui aucune valeur statistique, car le nombre de mines est tombé de 277 à 135. Mais elle a encore un intérêt géologique, parce qu'elle mesure jusqu'à un certain point la richesse métallifère de chaque couche. C'est à ce titre que j'en donne ici le résumé :

	mines.
Dans les schistes (millstone grit ou yoredale). .	8
Dans les schistes et le 1ᵉʳ calcaire.	56
Dans le 1ᵉʳ calcaire.	102
Dans le 1ᵉʳ et le 2ᵉ calcaire.	10
Dans le 2ᵉ calcaire.	16
Dans le 2ᵉ et le 3ᵉ calcaire.	4
Dans le 3ᵉ calcaire.	33
Dans le 3ᵉ et le 4ᵉ calcaire.	13
Dans le 3ᵉ toadstone.	3
Dans le 4ᵉ calcaire.	32
Total.	277

Il résulte de cette liste que 62 p. 100 des mines exploi-

tées à l'époque de Farey étaient ouvertes, au moins en partie, dans le 1er calcaire.

Formation des filons.

Un certain nombre de géologues anglais, entre autres M. William Wallace, considèrent les filons de plomb comme formés par des exsudations des roches encaissantes sous l'action des eaux et des autres agents atmosphériques. Déjà Farey, cherchant à expliquer la disparition des filons dans le toadstone, écrivait le passage suivant :

« Puisque le toadstone et les veines argileuses interrompent complétement les filons et même la circulation des eaux, et que d'ailleurs les schistes et les couches supérieures recouvraient le tout, il semble difficile de concevoir une autre origine aux spaths et aux minerais métalliques qui enduisent ces grandes fissures que des infiltrations de nature spéciale venant des roches adjacentes, supposition qui se confirme par ce fait, bien connu des mineurs, que certains lits de calcaire sont plus favorables que d'autres à la richesse du filon, ce qui leur fait donner le nom de *bearing measures* ou de *feeding ground.* Les deux faces d'un même rider ou les parties correspondantes de deux filons voisins et parallèles sont rarement riches en même temps. »

Cette manière de voir, tout à fait contraire aux idées qui sont admises aujourd'hui en France, ne me semble nullement nécessaire pour expliquer les interruptions de filons par les roches éruptives. Remarquons d'abord, avec de la Bèche, que certaines fissures ont fort bien pu se propager à travers le calcaire sans laisser d'empreinte dans le toadstone. Il suffit pour cela que, dans un effort général de plissement, le calcaire se soit rompu tandis que le toadstone résistait en vertu d'une plus grande élasticité (Pl. II, *fig.* 7). Ces fissures, normales aux couches et discontinues, qui constituent les scrins proprement dits, ont pu se trouver ensuite enrichies par suite de l'ouverture de fissures posté-

rieures traversant toutes les couches dans une direction sensiblement verticale et formant les *rakes*, c'est-à-dire les véritables filons.

Nous avons vu, d'autre part, que souvent les filons sont rejetés par les toadstones; rien n'empêche de croire que ce phénomène s'est produit après l'achèvement du remplissage. Quoi qu'il en soit, le point important, acquis dès à présent, c'est qu'il n'y a aucune difficulté théorique à comprendre les filons interrompus : ou bien ils proviennent de fractures discontinues, remplies par communication avec des carneaux continus, ou bien ils figurent les tronçons d'un filon d'abord continu, qui a été divisé par les intrusions de roches éruptives.

Si l'on consulte la classification des remplissages donnée par Werner pour les filons de la Saxe, on trouve la description suivante :

« ... le quatrième dépôt est aussi composé de minerai de plomb peu argentifère (1/4 à 3/4 d'once d'argent au quintal). Outre le minerai de plomb, on trouve des pyrites radiées, et quelquefois une petite quantité de blende brune. La gangue consiste en sulfate de baryte, spath fluor, quartz en petite proportion, et rarement du spath calcaire. Les veines ont un pied à une toise de puissance, et se dirigent généralement de l'Est à l'Ouest. »

Cette description s'applique aux filons du Derbyshire d'une façon presque complète. Néanmoins l'assimilation avec la Saxe ne peut être poussée bien loin, à cause de la différence des terrains encaissants. On trouverait, je pense, plus de points de comparaison dans le Hartz, qui renferme comme le Derbyshire de grandes masses calcaires, d'un âge peu différent. On sait que vers l'ouest de cette région, aux environs de Grund, les calcaires dévoniens supérieurs contiennent des émanations de baryte sulfatée, de galène pauvre et de fer carbonaté. Si l'on veut conclure de cette analogie à l'identité d'âge, on est conduit à admettre que

dans le Derbyshire, comme dans le Hartz, le remplissage de galène pauvre et de baryte appartient à l'infralias. Cependant la tendance marquée des filons du Derbyshire à devenir pyriteux dans les terrains les plus jeunes, établit par rapport à la Saxe et au Hartz, une différence tranchée. Ces parties pyriteuses semblent, en effet, comme les remplissages analogues d'Alston Moor, être postérieures à la galène pauvre, bien que, par leur composition, elle rappellent les sulfures *anciens* de Freyberg.

Postérieurement à leur remplissage, les filons ont été soumis à quelques actions secondaires. C'est ainsi qu'entre Snelstone et Norburg, une masse isolée de calcaire carbonifère fait saillie au milieu des marnes du Keuper, et que l'on trouve mêlés à ces marnes des morceaux de galène, ou même de petits noyaux cuivreux. Nous avons déjà signalé les phénomènes d'oxydation produits par les actions atmosphériques.

TROISIÈME PARTIE.

EXPLOITATION ET MÉTALLURGIE.

Exploitation.

Les mines du Derbyshire, après avoir traversé une période relativement brillante, sont aujourd'hui en pleine décadence, par suite de l'appauvrissement des filons en profondeur, et aussi des frais chaque jour croissants occasionnés par l'épuisement. La rareté des failles stériles, et l'horizontalité ou même la concavité des couches empêchent l'assèchement naturel. Les anciens mineurs pratiquaient des galeries d'écoulement qu'ils faisaient aboutir dans les thalwegs ou bien dans les cavernes naturelles, fréquentes surtout au milieu des calcaires de la deuxième et de la qua-

trième couche. Mais parfois ces cavernes, au lieu d'être disposées de manière à favoriser ce procédé, reçoivent les eaux de la surface et deviennent elles-mêmes une cause d'inondation. Les points où disparaissent les courants superficiels se nomment *Swallow-holes*. Parfois les rivières sortent d'une caverne et vont se perdre dans une autre. Ainsi, la rivière issue de la caverne de Peak rentre sous terre quelques kilomètres plus loin.

Dès que les mines atteignent une certaine profondeur, il faut bien renoncer au drainage naturel, et c'est alors que le découragement s'empare presque toujours des exploitants. J'en ai déjà cité des exemples : les mines de Hucklow Edge, près d'Eyam, en fournissent un plus caractéristique. Ces mines ont compté parmi les plus riches du Derbyshire. L'écoulement se faisait par une galerie appelée *Stoke sough*, qui venait déboucher dans la Derwent, un peu au-dessus de Stoke Hall. Mais on n'a pu arriver à dépasser le niveau de la galerie, et, à part deux pompes installées depuis quelques années à Great Hucklow et à Lady Wash, tous les travaux se bornent maintenant à reprendre les anciennes haldes, qu'on lave avec soin pour en retirer la galène encore contenue.

La mine de Bage, près Bolehill, ouverte dans le premier calcaire et les schistes, est à un niveau assez élevé pour qu'on ne soit nullement gêné par les eaux. Son exploitation fournit le type de la méthode actuelle du Derbyshire. Vu le peu de puissance des filons, qui, au niveau de 108 mètres qu'on a atteint, n'ont plus qu'une épaisseur moyenne de 3 ou 4 centimètres, les galeries n'ont pas plus de 1 mètre à 0m,80 de largeur. Les moellons obtenus dans l'abatage sont reportés au toits des galeries et arcboutés les uns contre les autres, de manière à se maintenir sans boisage. On exploite sans marche régulière, en traçant grossièrement des gradins, droits on renversés, dans toutes les parties qui semblent annoncer une certaine richesses. Le filon principal

E.-O. et les croiseurs N.-S. sont travaillés indifféremment de cette manière. Le roulage à lieu sur des voies ferrées de 0^{m},30 d'entre-voie, avec wagonnet en tôle monté sur châssis de bois. L'extraction marche seulement deux jours par semaine. La machine a un seul cylindre, horizontal, de 0^{m},30 de diamètre et 1^{m},20 de longueur. La bielle agit, par l'intermédiaire d'un engrenage, sur un treuil de 2 mètres de diamètre. Les bennes sont en bois, et suspendues librement dans le puits par une corde en chanvre. Le puits est circulaire, de 1^{m},50 de diamètre, maçonné dans sa partie supérieure. L'aérage est naturel : le courant arrive par un tuyau en tôle, descendant dans le puits, et il est dirigé au moyen de quelques portes. Il y a assez peu d'eau pour qu'on n'ait pas besoin de pompe d'épuisement.

La circulation des hommes se fait dans un petit puits rectangulaire garni sur deux faces opposées d'échelons horizontaux sur lesquels on se maintient par les pieds et les mains, convenablement écartés. Les ouvriers sont au nombre de vingt, payés en moyenne 5 shillings (6^{f},25) par jour; huit hommes travaillant dans une même galerie la font avancer de 1^{m},50 par semaine. Les frais de percement atteignent donc, de ce seul chef, 200 francs par mètre courant (six jours de travail). Tout compris, ils s'élèvent à 277 francs.

La mine produit 3 tonnes 1/3 par semaine, ou 170 tonnes par an, de minerai préparé. C'est un chiffre relativement élevé pour le Derbyshire. Les frais hebdomadaires de main-d'œuvre sont de 750 francs. Le total des frais est de 1.035 francs, soit par tonne 310 francs. Ce chiffre ne comprend pas le coût de la préparation. Mais la simplicité du procédé est telle qu'il ne doit pas augmenter beaucoup le prix de revient. La valeur moyenne du minerai dépassant, au moins pour l'année 1874, le chiffre de 365 francs, on voit qu'il reste encore un bénéfice d'environ 15 p. 100 sur le prix de vente. Les conditions sont donc satisfaisantes, mais cela tient uniquement à la sécheresse de la mine.

Préparation mécanique.

A l'époque où MM. Dufrénoy et E. de Beaumont visitèrent le Derbyshire (1826), on employait un grand nombre d'appareils divers pour le débourbage, le broyage, le criblage, le lavage des minerais. Beaucoup de ces appareils sont abandonnés aujourd'hui, et l'on suit pour la préparation une marche fort simple, dont je prendrai le type à la mine de Suf.

Le tout-venant est jeté en tas et soumis à un triage sommaire, dans le but de séparer le gros. Celui-ci est cassé au marteau et divisé en :

Riche (bon à vendre);
Pauvre (rejeté);
Moyen (catégorie A).

Le reste du minerai est porté au débourbage, lequel s'effectue dans une caisse de 1^m,50 de long, 0^m,60 de large et 0^m,50 de haut. Cette caisse (*standing buddle*) est remplie d'eau. On y jette le minerai, qu'on retire ensuite avec la pelle, en prenant soin de remuer sous l'eau chaque pelletée. On abandonne les boues demeurées en suspension. Le minerai est ensuite criblé dans un crible à main (*hand sieve*), à trous carrés de 0^m,025 de côté. Ce qui reste sur le crible est trié à la main en :

Riche (bon à vendre);
Pauvre (rejeté);
Spath fluor (gardé pour la métallurgie);
Moyen (catégorie B).

La partie qui traverse le crible est jetée sur un second crible dont les trous ont 0^m,005, et qui donne :

Refus (catégorie C);
Menu (catégorie D).

Les catégories A, B, C vont ensemble au broyeur, formé

de deux couples de cylindres superposés. Le couple supérieur est cannelé, le couple inférieur est uni. Les deux couples sont mis en mouvement par la machine d'extraction (machine à cylindre oscillant). Les minerais, broyés par leur passage successif entre les deux couples de cylindre, rejoignent la catégorie D, et le tout est porté au crible à secousse (*brake sieve*), formé d'un tamis de $0^m,80$ de long sur $0^m,50$ de large, qu'on agite à la main au milieu d'une cuve pleine d'eau. On obtient ainsi trois nouvelles sortes :

Au fond du tamis. . . .	le *riche* (bon à vendre);
A la surface du tamis. .	le *pauvre* (rejeté);
Dans la cuve.	les menus ou *slimes*.

Cette dernière sorte est amenée dans une caisse de lavage (*trunk buddle*) légèrement inclinée, dont les dimensions sont les mêmes que celles du *standing buddle*. On met les matières en suspension en les agitant à la pelle. La poussière stérile vient à la surface et est rejetée. Les matières lourdes s'accumulent par-dessous et sont réunies aux minerais riches.

En somme, toutes les opérations, sauf le broyage, se font à la main et n'occupent qu'une douzaine d'ouvriers. Le broyage a lieu d'une manière discontinue et suit la marche de l'extraction.

Traitement métallurgique.

Il existe, principalement autour de Matlock-Bath, un certain nombre d'usines à plomb. Les plus importantes sont celles de :

Benjamin Bugshaw, Tyam, près Bakewell;
Jos. Wass. and C°, Lea lead Works, près Matlockbath;
Gibbs and C°, Bensale Dale, près Matlockbath;
Via Gellia lead Works, Cromford, près Matlockbath;
Robert Haw, Ashton, près Castelon, etc.

Toutes ces usines appliquent un mode de traitement sem-

blable. Toutes ont été forcées, par le ralentissement des mines, de diminuer leur production. Plusieurs sont même tout à fait arrêtées. Voici la série d'opérations que j'ai observée à Lea lead works :

1[re] *opération. — Grillage et réaction des minerais riches* (amenés par la préparation à une teneur de 76 ou 80 p. 100). — On opère dans un réverbère (Pl. II, *fig.* 8), sur la sole duquel on introduit, par une trémie placée à la partie supérieure, une charge de 800 kilog. Le four étant déjà chauffé par l'opération précédente, la charge, soigneusement étendue, commence aussitôt à se calciner. La calcination dure deux heures. Pendant ce temps, on râble fréquemment, de manière à renouveler les surfaces. Cette durée de deux heures est relativement fort courte; mais il faut remarquer que le minerai est déjà partiellement oxydé par les agents atmosphériques.

Au bout de deux heures, on ferme les portes, et l'on procède pendant une heure à une série de coups de feu et de brassages successifs qui déterminent la coulée du plomb dans le bassin intérieur. Quand le minerai est suffisamment épuisé, on ajoute quelques kilogrammes de spath-fluor pour donner à la scorie une fluidité suffisante et permettre de décomposer les sulfates restants à une température assez basse pour ne pas compromettre le rendement. L'addition de spath-fluor est répétée cinq ou six fois, et l'on en introduit ainsi environ 60 kilog. — Quand la séparation par densité est effectuée dans le bassin, on fait couler une partie du plomb. A la surface du bain nagent des scories plus ou moins sulfurées qu'on solidifie par des additions de chaux et de charbon, et qu'on ramène sur la sole. Un nouveau coup de feu fait couler du plomb, un peu moins pur que le premier. L'opération totale dure 6 heures.

Je n'insiste pas davantage sur ce mode de traitement, quelque intéressant qu'il soit, parce que tous les détails s'en trouvent dans la *Métallurgie* de Rivot. La consomma-

tion de charbon est de 2t,50 à 3 tonnes par 24 heures. On passe dans le même temps 5t,20 de minerai. Les postes changent à chaque opération et se composent chacun de 2 hommes. On emploie ainsi 4 hommes par 12 heures. Ils sont payés en moyenne 27f,50 par semaine. L'usine de Lea possède 4 fours à réverbère; mais on n'en fait marcher à la fois qu'un seul, et de plus on l'éteint dès le vendredi soir.

2e *opération.* — *Réduction au four à cuve.* — Le four est à 4 tuyères. La distance verticale des tuyères au gueulard est de 1m,50. Le diamètre au ventre est aussi de 1m,50. On passe dans ce four, en proportions variables avec les approvisionnements :

Scories de 1re opération. Richesse.	35 p. 100
Slimes (de préparation mécanique).	40
Linnet (minerai oxydé, trié dans la mine). .	15

Les lits de fusion alternent avec des lits de coke du Durham dont on règle l'épaisseur d'après l'allure des réactions. Toutes les 8 heures, on fait une coulée qui produit environ 660 kilog. de plomb. On obtient donc 2 tonnes en 24 heures. Les scories tiennent 2 ou 3 p. 100. Elles sont jetées. Le travail marche seulement du lundi au jeudi. Les hommes, au nombre de 4, fournissent deux par deux des postes de 8 heures et sont payés comme les ouvriers du réverbère.

3e *opération.* — *Traitement des fumées.* — Les fumées du four à cuve sont condensées avec soin dans une série de chambres où l'on introduit de l'eau et de la vapeur d'eau. Elles sont ensuite reprises dans un réverbère identique au premier. La calcination dure seulement une heure, et l'opération complète 4 heures au lieu de 6. La charge est plus forte que dans la première opération : elle atteint 1.100 kil. On peut donc passer près de 7 tonnes en 24 heures; mais il va sans dire que cette opération est essentiellement

discontinue. Le traitement des fumées est conduit d'une manière analogue à celui des minerais. On scorifie également par addition de spath-fluor. Le plomb obtenu est de qualité supérieure (c'est ce qui fait préférer le réverbère au four à cuve). Les crasses sont repassées au four à cuve.

L'usine de Lea a été visitée, de 1826 à 1830, par MM. Dufrénoy et E. de Beaumont, puis par MM. Coste et Perdonnet. Il résulte des descriptions données par ces auteurs, que la seule modification importante introduite depuis cette époque est la réduction des fumées au réverbère. Autrefois, toutes les fumées étaient repassées au four à cuve. Le four à réverbère actuel a les mêmes longueurs de sole et de grille que celui qui est décrit par MM. Coste et Perdonnet. Mais les dimensions transversales ont été augmentées, et le rapport des deux surfaces s'est ainsi abaissé de 14,25 à 7.29. La conséquence naturelle est un certain accroissement dans la consommation de combustible : pour une charge de 800 kilog., on consomme, dans l'ensemble des opérations, 2.400 à 3.000 kilog. de houille, au lieu de 1.600 comme en 1830. En revanche, on est plus maître de la conduite des opérations, et il semble que le rendement s'améliore légèrement.

Prix de revient. — On consomme aujourd'hui, dans le traitement au réverbère, 815 kilog. de houille par tonne de minerai traité. A 12 francs la tonne, cela fait $9^f,78$. La main-d'œuvre est de $1^f,25$, soit, à $4^f,60$ la journée, $5^f,75$ par tonne de minerai.

La main-d'œuvre au four à manche revient en une semaine à 90 francs. On passe dans le même temps $19^t,20$ de minerai riche au réverbère; la dépense de ce chef est donc de $4^f,50$ par tonne. La consommation de combustible, très-variable, peut s'estimer à environ $0^t,30$ de coke par tonne de lit de fusion, ou bien (le rendement étant de 34 p. 100) à $0^t,88$ par tonne de plomb obtenu. Comme on coule 10 tonnes par semaine, la consommation totale de coke est

de $8^t,80$, ce qui correspond à $0^t,44$ par tonne de minerai riche traité. Estimant la tonne de coke à 25 francs, cela fait une dépense de $6^f,60$. En somme, les deux premières opérations reviennent, pour la dépense principale, à $26^f,63$ par tonne de minerai. Le traitement des fumées est une opération trop irrégulière pour qu'il soit possible d'évaluer les consommations.

Le rendement moyen du minerai riche, dans l'ensemble des opérations, est de 66 p. 100. Le plomb obtenu est trop pauvre en argent pour qu'il y ait lieu de faire la désargentation.

Statistique.

La production du Derbyshire va constamment en décroissant, comme le montrent les chiffres suivants, empruntés aux statistiques de M. Rob. Hunt :

ANNÉES.	MINERAI produit	PLOMB extrait.
	tonnes.	tonnes.
1853.	7.681	4.959
1854.	7.554	4.508
1865.	6.006	»
1874.	4.301	3.572

En 1874, il a été obtenu en outre, je ne sais dans quelles conditions, environ 25 kilog. d'argent. Ces chiffres résultent des livres des fondeurs. Les inspecteurs donnent, pour 1874, des chiffres un peu différents :

mines.		tonn. cwt.
66	produisant plus d'une tonne de minerai ordinaire. .	2.612,11
17	id. id. de brown ore.	461,11
35	produisant moins d'une tonne de minerai.	11,3
		3.085,05

Cette situation peu satisfaisante s'explique par l'appauvrissement des filons en profondeur et par les difficultés croissantes de l'épuisement. Dans un article financier in-

séré, le 17 avril 1875, au *Mining journal*, il est dit que la mine de Great-Rake a dépensé plus de 50.000 francs en essais infructueux, et que celle de Rushy-Cliff en a perdu au moins 250.000. Des dépenses pareilles découragent vite un exploitant qui travaille pour son compte, surtout quand il n'y a aucun espoir sérieux d'amélioration. Or, il n'y a dans le Derbyshire que des entreprises particulières.

L'épuisement des mines de plomb est loin d'être un fait général en Angleterre. Le plomb, depuis quelques années, est même devenu plus rémunérateur que le cuivre et l'étain. Tandis que les minerais de ces derniers métaux souffrent beaucoup de la concurrence étrangère, la production des minerais de plomb tend à croître, et les prix de vente du métal se maintiennent remarquablement constants (entre 500 et 550 francs la tonne) (*).

Malgré cela, les capitalistes n'ont pas essayé de fonder dans le Derbyshire des entreprises nouvelles, et en cela ils ont fait preuve de prudence, car les résultats acquis dès à présent ne permettent pas de penser qu'on retrouve jamais dans les calcaires inférieurs uue richesse comparable à celle qui a fait la fortune des anciens mineurs.

(*) Ceci a été écrit au commencement de 1877.

TABLE DES MATIÈRES.

DE LA TRANSMISSION

ET DE LA

DISTRIBUTION DES FORCES MOTRICES A GRANDE DISTANCE

AU MOYEN DE L'ÉLECTRICITÉ

Par M. A. ACHARD, ingénieur, ancien élève externe de l'École des mines.

1. On sait que la production du travail par l'électricité de la pile est fort dispendieuse, et que les moteurs électriques sont, au point de vue de l'économie, très-inférieurs aux moteurs thermiques, tout en étant susceptibles d'un rendement mécanique plus élevé. La raison en est que la consommation à laquelle on rapporte le rendement est représentée, pour ceux-ci par du charbon, pour ceux-là par un métal (en pratique le zinc) dont l'oxydation donne lieu à un travail chimique positif qui est la source de l'énergie mécanique du courant de la pile, et que ce métal, devant être doué par cela même d'affinités énergiques, ne peut exister dans la nature à l'état libre, et doit être extrait artificiellement de ses combinaisons. Il en résulte que la supériorité de rendement des moteurs électriques est beaucoup plus que compensée par le surplus de coût de la matière qu'ils emploient. Aussi, en tant qu'alimentés par le courant de la pile, ils ne peuvent jouer aucun rôle industriel, et ne trouvent d'application que dans des cas très-exceptionnels où l'économie n'est pas prise en considération.

Mais la pile n'est pas le seul moyen qui permette de produire un courant électrique. La découverte de l'induction a révélé la possibilité d'obtenir des courants par une *dé-*

pense de travail mécanique ordinaire et a permis de construire, sous le nom de *machines d'induction* ou *machines magnéto-électriques*, des appareils qui réalisent ce mode de production de l'électricité. Ces appareils que nous nommerons *générateurs* (*) *de courants* ont été récemment l'objet de perfectionnements considérables qui ont permis de de les appliquer avec succès à l'éclairage et aux opérations électro-chimiques.

Le courant électrique obtenu par une dépense de travail mécanique peut être substitué à celui de la pile pour alimenter un *moteur* ou *récepteur* électrique. Cette substitution sera évidemment sans objet si elle aboutit à placer côte à côte le générateur et les récepteurs de courant; mais comme le courant peut franchir de grands espaces avec un conducteur métallique pour véhicule, les deux appareils peuvent être séparés l'un de l'autre, et alors leur association fournira un procédé pour transmettre le travail mécanique à distance.

Il est très-probable que cette idée n'est point nouvelle, et qu'elle pourrait être revendiquée par plusieurs des physiciens qui, lors de la découverte de l'induction, ont saisi le rôle que joue ce phénomène dans la corrélation des forces physiques. Mais elle a été fréquemment énoncée en dernier lieu (**), et cela tient à ce que l'attention du public industriel est dirigée tout à la fois sur les applications des nouveaux générateurs électriques et sur la transmission à grande distance des forces motrices.

(*) L'emploi des mots *générateur* et *moteur* (ou *récepteur*) nous paraît indispensable pour éviter la confusion inhérente à la terminologie qui a prévalu jusqu'ici.

(**) Elle a même été mise en pratique sur une petite échelle. Nous avons vu fonctionner une application de ce genre à l'établissement du Val d'Osne, boulevard Voltaire, à Paris; les deux appareils étaient des machines de Gramme. L'opérateur actionné par la machine réceptrice n'était autre qu'une troisième machine de Gramme dont le courant servait à la galvanoplastie.

Les moyens dont on dispose pour résoudre ce dernier problème ont fourni la matière de quelques études qui ont été publiées dans ce recueil (*) il y a peu d'années. Nous pensons qu'il y aurait quelque opportunité à les compléter en exposant sommairement ce que l'on sait sur l'application dont l'électricité serait susceptible à cet égard.

2. Le fonctionnement des générateurs électriques repose sur l'induction, et celle-ci joue encore un rôle important dans celui des moteurs. Il ne saurait être question d'examiner ici les diverses formes qu'elle peut revêtir; il nous suffira, pour notre objet, de nous en tenir à l'induction *électro-magnétique*, c'est-à-dire au phénomène qui se passe quand il y a mouvement relatif entre un aimant et un corps conducteur placé dans son champ d'action.

Il n'est pas même nécessaire d'envisager ce phénomène dans sa généralité. Dans les appareils dont nous avons à nous occuper, les conducteurs qui sont le siége de courants affectent toujours la forme de fils métalliques enroulés en hélices de pas très-faible autour de noyaux de forme régulière; et on peut, dans l'analyse des phénomènes, substituer aux tours d'hélice autant de conducteurs fermés, distincts les uns des autres, et parcourus chacun par un courant égal à celui qui parcourt l'hélice entière. Pour l'étude des appareils, il suffira donc de restreindre l'induction électro-magnétique au cas de conducteurs linéaires affectant la forme d'un contour plan et fermé, et de plus ce contour sera une circonférence ou une figure doublement symétrique (ellipse, rectangle, etc.).

Mais avant d'envisager l'induction sous cette forme restreinte, il est nécessaire d'exposer la loi dont elle dépend en dernière analyse, c'est-à-dire la loi qui régit l'*action électro-magnétique*.

(*) Voir *Annales des mines*, 7ᵉ série, t. VI (1874), p. 151, 301, 343; t. VII (1875), p. 146; et t. VIII (1875), p. 229.

On admet qu'un aimant (et nous verrons plus loin sous quelles restrictions) exerce les mêmes actions que si les quantités égales de magnétisme nord et de magnétisme sud qu'il contient étaient respectivement concentrées en deux points qui occupent dans son intérieur des situations invariables et qu'on nomme les *pôles*.

La loi de l'action exercée par un pôle magnétique sur un élément d'un conducteur linéaire parcouru par un courant est la suivante. Cette action est appliquée au milieu O de de l'élément *mn* (*fig.* 1, Pl. III) ; elle est perpendiculaire au plan P*mn* qui contient l'élément et le pôle agissant; elle est dirigée vers la *droite* ou la *gauche* (*) du courant, suivant que le pôle est *nord* ou *sud;* enfin elle a pour grandeur :

$$\frac{Mi\,ds \sin\alpha}{x^2}$$

M étant *la quantité de magnétisme* ou *la force magnétique* du pôle, *i* *l'intensité* (**) du courant, *ds* la longueur de l'élément, *x* la distance PO et α l'angle de PO avec *mn*. Dans l'emploi de la méthode infinitésimale, il est évident que tous les points de l'élément pourront indifféremment être pris comme point d'application de la force et correspondront à une même valeur de *x* et à une même valeur de α.

L'action exercée par un pôle magnétique sur un conduc-

(*) Quand on parle de la *droite* ou de la *gauche* d'un courant rectiligne fini, ou d'un élément de courant, il faut concevoir qu'on substitue au conducteur un observateur qui serait traversé par le courant *des pieds à la tête*, et qui regarderait le pôle agissant.

(**) Ces dénominations, comme celles de toutes les grandeurs électriques, ne peuvent avoir de sens précis que si on définit l'unité à laquelle chaque espèce de grandeur est rapportée. Pour ne pas y revenir à chaque fois, nous avons résumé dans une note additionnelle, placée à la fin de l'article, l'exposé du système des *unités absolues*, qui est aujourd'hui en usage et dont la connaissance est indispensable pour les applications.

teur de longueur finie, parcouru par un courant, s'obtiendra en composant les actions du pôle sur tous les éléments de ce conducteur. Si le conducteur forme une courbe fermée quelconque, on démontre que l'action se réduit à une force unique passant par le pôle (*).

Ainsi qu'il a été dit, nous envisageons exclusivement des conducteurs plans, circulaires ou doublement symétriques. Dans le cas d'un conducteur circulaire il résulte de la symétrie même que l'action exercée par le pôle, et passant par celui-ci, est contenue dans le plan APB mené perpendiculairement au plan du cercle par la droite PO qui joint le centre O de celui-ci au pôle P (*fig.* 2). Dans le cas d'un conducteur doublement symétrique, si le pôle est *situé* dans le plan mené perpendiculairement à celui du conducteur par un des deux axes de symétrie de la figure, *l'action* résultante sera contenue aussi dans ce même plan.

Dans le cas encore plus particulier où le pôle se trouve sur la perpendiculaire menée au plan du conducteur par son centre, l'action résultante du pôle coïncide avec cette même perpendiculaire, et elle est égale à la somme des projections sur celle-ci des actions exercées sur les éléments du conducteur. D'après la règle qui lie le sens de l'action élémentaire au sens du courant, il est facile de voir que, si le courant parcourt le conducteur fermé dans le sens *direct* (c'est-à-dire dans le sens du mouvement des

(*) Si le pôle est mobile et le conducteur fixe, la résultante des actions des éléments du conducteur sur le pôle non-seulement passe par celui-ci, mais encore l'a pour point d'application. Ici où nous supposons le contraire, la résultante des actions du pôle sur les éléments du conducteur semble dépourvue de réalité, puisqu'elle ne passera généralement pas par un point du conducteur. La difficulté disparaît si on imagine un corps solide invariablement lié à celui-ci; tous les points de ce corps qui sont sur la direction de la résultante passant par le pôle peuvent être considérés comme étant son point d'application, et une force égale et opposée, appliquée en l'un quelconque de ces points, tiendra le conducteur en équilibre.

aiguilles d'une montre vue par le cadran) pour un observateur placé au pôle agissant, les actions élémentaires seront dirigées vers l'*intérieur* ou vers l'*extérieur* du cône ayant le conducteur pour base et le pôle pour sommet, suivant que le pôle est *sud* ou *nord*, et que, par conséquent, l'action résultante sera *répulsive* s'il est *sud*, *attractive* s'il est *nord*. Les résultats seront évidemment opposés si le courant, vu du pôle, parcourt le conducteur dans le sens *inverse* (*fig.* 3).

3. Il en sera encore de même si le pôle, au lieu d'être placé sur la perpendiculaire menée au plan du conducteur par son centre, s'en écarte de côté ou d'autre. Mais c'est à la condition que l'écart n'excède pas une certaine limite. Il est facile de montrer pour un conducteur circulaire qu'il existe une limite au delà de laquelle le sens de l'action résultante est changé.

Soit AB (*fig.* 4) ce conducteur que nous supposerons projeté à la fois sur un plan Z parallèle au sien et sur un plan perpendiculaire Y ayant xy pour trace sur le premier. Nous supposons, pour préciser, que le pôle agissant soit *nord* et que le courant vu de celui-ci marche dans le sens *direct*. D'après ce qui vient d'être expliqué, lorsque le pôle N se trouve sur la perpendiculaire élevée par le centre du courant sur son plan, le courant circulaire est attiré vers le pôle et tend par conséquent *à s'éloigner du plan* Z, car les actions élémentaires, par le fait même qu'elles sont dirigées perpendiculairement aux génératrices du cône de base AB et de sommet N, sont dirigées vers N. Si l'on suppose que N s'écarte de cette position, en se mouvant dans un plan parallèle à Y, on voit que son action conserve d'abord le même sens, mais on remarque aussi que, dès que l'aplomb N' du bord B du cercle est dépassé, il commence à y avoir des actions élémentaires dirigées du côté opposé au pôle. Voyons ce qui arrivera quand celui-ci se trouvera rabattu en N_1 dans le plan du conducteur. Les points de

contact C et D des tangentes extrêmes menées par N_1 divisent la circonférence en deux parties inégales DAC et DBC qui donnent lieu à des actions opposées. Pour voir de quel côté sera la prépondérance, menons par N_1 deux rayons vecteurs qui font entre eux l'angle infiniment petit $d\varphi$, et qui détachent sur DAC l'élément $\overline{mp} = ds$ et sur DBC l'élément $\overline{m'p'} = ds'$. Abaissons de m et de m' les perpendiculaires mq et $m'q'$ sur N_1p, et posons $\overline{N_1m} = r$, $\overline{N_1m'} = r'$, angle mpq = angle $m'p'q' = \alpha$. On voit que $ds = \frac{mq}{\sin\alpha} = \frac{rd\varphi}{\sin\alpha}$, et $ds' = \frac{m'q'}{\sin\alpha} = \frac{r'd\varphi}{\sin\alpha}$. L'action du pôle sur $\overline{mp}$ est donc $Mi\,\frac{ds'\sin\alpha}{r'^2} = Mi\,\frac{d\varphi}{r'}$, et son action sur $\overline{m'p'} = Mi\,\frac{ds'\,\sin\alpha}{r'^2}$ $= Mi\,\frac{d\varphi}{r'}$, Comme $r' < r$, on voit que l'action sur $\overline{m'p'}$ est plus forte que l'action sur $\overline{mp}$. Mais à chacun des éléments $\overline{mp}$ de DAC correspond un élément $\overline{m'p'}$ de DBC. Ce sont donc les actions sur DBC qui sont prépondérantes, et on voit qu'elles tendent à *rapprocher le conducteur du plan* Z (*). La somme des composantes perpendiculaires au plan du conducteur de toutes les actions élémentaires se trouve donc dirigée en sens contraire de ce qu'elle était lorsque le pôle occupait la position N.

Par conséquent, lorsque le pôle parcourt le quadrant NN_1, il passe nécessairement par une situation U pour laquelle cette somme de composantes change de sens. La *fig.* 5 montre les changements de sens qu'elle éprouve lorsque le pôle parcourt la circonférence entière, le courant con-

(*) Si le conducteur est mobile autour d'un axe coïncidant avec la corde de contact CD, il tournera autour de cette corde ; mais il faut le supposer guidé de manière à ne pouvoir prendre qu'un mouvement de translation général qui l'éloigne ou le rapproche du plan Z.

servant toujours le même sens, c'est-à-dire étant direct pour un observateur placé en N_1NN_1 et inverse pour un observateur placé en $N_1N_0N_1$. L'angle d'inversion NOU dépend probablement du rapport qui existe entre le rayon du conducteur et la distance $\overline{ON}$ (*).

La démonstration élémentaire qui précède n'est applicable qu'à un conducteur circulaire; mais il est vraisemblable que le phénomène de l'inversion de l'action du pôle magnétique pourrait être démontré pour les autres formes usuelles des conducteurs fermés qui se rencontrent dans les appareils d'induction.

4. L'action exercée par un aimant sur un conducteur parcouru par un courant s'obtiendra en composant celles qui sont exercées par les deux pôles, et qui, lorsque le conducteur est fermé, se réduisent à deux forces passant respectivement par ceux-ci. En général ces deux forces ne sont pas contenues dans un même plan, et, par suite, n'ont pas une résultante unique. Pour qu'elles aient une résultante unique, il faut que les deux pôles se trouvent situés dans un plan perpendiculaire au plan du conducteur et passant par un de ses deux axes de symétrie. C'est ce qui a lieu dans les appareils électro-magnétiques, pour toutes les positions d'un conducteur mobile quelconque (**).

Ici il y a une observation essentielle à faire sur la manière

(*) Dans le cas où ce rapport est assez petit pour que son carré soit négligeable, on peut intégrer les différentielles qui représentent les composantes parallèle et perpendiculaire de l'action élémentaire, et l'on a pour somme des composantes perpendiculaires $\frac{Mi \,.\, 2\varpi r^2}{a^3}(3\cos^2\psi - 1)$ (Voir un article de *M. Terquem*, dans le *Journal de physique de M. d'Almeida*, tome I), a étant la distance $\overline{ON}$, ψ l'angle de cette distance avec la normale au plan du conducteur, et r le rayon de celui-ci. L'angle d'inversion est alors déterminé par $\cos\psi = \frac{1}{\sqrt{3}}$, et a pour valeur 54°,44'.

(**) Voir la note de la page 74.

dont il faut envisager les pôles des aimants qui se rencontrent dans la réalité.

L'assimilation d'un aimant au système de deux points magnétiques de situation invariable n'est permise que si sa section normale à la ligne qui joint ces points est infiniment petite. Un aimant de dimensions finies pourra être considéré comme un faisceau d'aimants élémentaires dont chacun possédera deux pôles très-voisins de ses extrémités. L'action exercée par une des extrémités de l'aimant fini sur un point magnétique, ou sur un élément de courant, est la résultante des actions de tous les pôles élémentaires situés à cette extrémité. Lorsque le point magnétique, ou l'élément de courant, est très-éloigné, elles sont parallèles entre elles, et, quelle que soit leur direction commune, leur résultante émane d'un point déterminé. C'est dans ce cas seulement que l'aimant fini peut être considéré comme ayant des pôles. Mais quand le point magnétique, ou l'élément de courant, est à une petite distance, il éprouve des actions qui ne sont plus parallèles, et dont les grandeurs relatives dépendent de sa situation. Alors leur résultante ne passe plus par un même point quelle que soit cette situation, et l'aimant n'a plus de pôles au sens strict de ce mot.

Dans la suite nous continuerons à parler des pôles d'un aimant comme s'ils avaient une situation déterminée; mais ce sera seulement pour simplifier le langage et l'observation précédente ne devra pas être perdue de vue.

5. Le phénomène de l'induction que nous pouvons aborder maintenant est régi par une loi générale appelée *loi de Lenz*, qui, restreinte au cas de l'induction électro-magnétique, peut s'énoncer ainsi :

Lorsqu'on déplace un élément de conducteur par rapport à un pôle magnétique de manière à ce qu'il demeure perpendiculaire à la direction de la force que ce pôle exercerait sur lui si un courant y passait, il ne s'y développe aucun courant et le déplacement ne rencontre aucune ré-

sistance. Mais toutes les fois que le déplacement de l'élément n'est pas perpendiculaire à la direction de la force électro-magnétique qui serait exercée sur lui, c'est-à-dire toutes les fois que sa projection sur cette direction n'est pas nulle, le conducteur dont l'élément fait partie devient le siége d'un courant, lequel est toujours de sens opposé à celui qui donnerait lieu au déplacement effectué; en même temps ce déplacement rencontre une résistance et par conséquent absorbe du travail.

De cette loi, combinée avec celle qui régit l'action électro-magnétique, il résulte que si l'on assimile l'élément de conducteur à un observateur, le courant induit sera dirigé :

	lorsque, regardant	le conducteur se déplace
des pieds à la tête.	un pôle nord,	vers sa droite.
	— sud,	— sa gauche.
de la tête aux pieds. . . .	— nord,	— sa gauche.
	— sud,	— sa droite.

Cette règle pourra servir à déterminer le sens du courant induit qui prendra naissance dans un conducteur fini dont on connaît le mouvement, en analysant ce qui se passe dans les divers éléments.

Mais si l'on envisage un courant fermé, il sera plus aisé de faire cette détermination en se basant sur le sens de l'action résultante exercée sur lui par un pôle magnétique lorsqu'on le suppose parcouru par un courant auquel on attribue un sens arbitraire.

Ainsi lorsqu'un conducteur circulaire ou doublement symétrique éprouve une translation suivant la droite qui joint son centre au pôle agissant, on saura d'après ce qui a été dit au § 2, que le courant induit, vu de ce pôle, sera *direct* si le pôle est *nord* et que le conducteur *s'en éloigne*, ou si le pôle est *sud* et que le conducteur *s'en approche*, et sera *inverse* dans les deux autres cas.

Les choses se passeront encore de même si la ligne joignant le pôle au centre du conducteur devient oblique au plan de celui-ci, tant que l'obliquité n'atteint pas l'angle

d'inversion (voyez § 3). Si cet angle est dépassé, le courant induit auquel donne lieu une même translation du conducteur change de sens. Il suit de là que si deux pôles contraires se trouvent placés, par rapport au conducteur fermé, l'un en deçà l'autre au delà de la position angulaire qui correspond à l'inversion, un même mouvement de translation du conducteur déterminera de leur part des actions inductrices concordantes.

6. Si au lieu d'un pôle isolé on considère un aimant, et si l'on s'en tient à l'hypothèse restrictive dans laquelle les actions de ses pôles sur un courant fermé se composent en une résultante unique, le sens du courant induit que l'aimant détermine dans le conducteur est tel que la résultante en question contrarie le mouvement.

Le cas le plus simple de l'effet inducteur d'un aimant est celui où le conducteur l'entoure de manière à ce que son centre soit toujours sur l'axe, et se meut en allant du plan normal passant par un pôle au plan normal passant par l'autre. Supposons qu'il marche du pôle sud au pôle nord (*fig.* 6). Tant qu'il se trouvera entre S et le milieu C, comme l'action de S sera prépondérante sur celle de N, elle déterminera le sens du courant induit; celui-ci sera donc inverse pour un observateur placé en S. En C, l'action électro-magnétique étant nulle, le courant cessera. Entre C et N l'action de N sera prépondérante et le courant sera inverse pour un observateur placé en ce pôle; par conséquent il aura un sens contraire à celui qu'il avait entre S et C.

Il n'est pas nécessaire de supposer l'aimant rectiligne; mais, s'il est courbe, il faudra, pour rester dans notre hypothèse, admettre que son axe forme une courbe plane dans le plan de laquelle un des axes de symétrie du conducteur demeurera toujours situé.

Si l'on imagine qu'un second aimant N'S' fasse suite à l'aimant NS (*fig.* 7), les deux pôles nord étant juxtaposés, et que le conducteur marche de S à S', le courant ne chan-

gera pas de sens au moment où le double pôle nord NN' sera franchi. En effet, pour un observateur placé en NN' le courant sera inverse tant que le conducteur ira de C en NN' et direct tant que le conducteur ira de NN' en C' : il changera donc de sens pour cet observateur à l'instant même où le côté par lequel il sera vu de celui-ci changera, ce qui veut dire qu'en réalité il n'en changera pas. Mais il reprendra de C' en S' le sens qu'il avait entre S et C. On pourrait faire un raisonnement pareil en considérant deux aimants se faisant suite par leurs pôles sud S et S'. Et si l'on imagine deux aimants se touchant à la fois par les pôles nord N et N' et par les pôles sud S et S' et se séparant dans l'intervalle (*fig.* 8), un conducteur qui ferait le tour de la double courbe serait parcouru par un courant induit dont le sens changerait seulement aux points milieu C et C'.

7. Dans ce qui vient d'être dit sur l'induction, nous nous sommes bornés au cas où le conducteur mobile n'est parcouru préalablement par aucun courant. Le courant induit que le mouvement du conducteur détermine y circule alors seul. C'est ce qui a lieu dans les générateurs.

Mais si le conducteur est préalablement le siége d'un courant, cette circonstance ne change rien au phénomène de l'induction. Seulement le courant induit, au lieu d'exister seul, se superpose au courant primitif, et alors il y a deux cas à considérer quant au mouvement qui lui donne naissance :

a) Le conducteur est laissé libre d'obéir à l'action électro-magnétique que le courant primitif met en jeu. Alors le courant induit résultant de son déplacement est en sens contraire du courant primitif; il contribue par conséquent à diminuer l'intensité de celui-ci et aussi à diminuer le travail mécanique que le conducteur peut accomplir en vertu de son mouvement. C'est ce qui se passe dans les moteurs électriques.

b) On imprime au conducteur un déplacement contraire

à celui que la force électro-magnétique résultant du courant primitif tendrait à lui faire prendre, et par là on dépense du travail. Le courant induit provenant du déplacement est alors dans le même sens que le courant primitif; par conséquent il s'y ajoute, il exagère la force électro-magnétique qui en résulte et il nécessite un surcroît de travail à dépenser. Ce cas serait réalisé dans un moteur électrique qu'on forcerait, en faisant jouer à la résistance le rôle de puissance, à marcher en sens contraire du mouvement que le courant de la pile tendrait à lui faire prendre.

8. Nous pouvons aborder maintenant l'étude des générateurs électriques et nous commencerons par passer en revue les caractères qui leur sont communs.

1° Les noyaux des hélices (ou des bobines, comme on les nomme souvent) sont en fer doux. En s'aimantant sous l'action des aimants ils acquièrent des pôles dits *pôles induits* qui concourent à la production des courants, et y jouent même le rôle prédominant. Mais l'utilité principale de ces noyaux en fer doux consiste en ce que leur magnétisme, augmenté par le fait même du courant induit engendré dans les spires qui les enveloppent, réagit énergiquement sur l'intensité de ce courant lui-même (*).

2° Dans les appareils de grandes dimensions, les aimants permanents sont remplacés par des électro-aimants dont l'aimantation est obtenue, quelquefois par le courant provenant d'une petite machine auxiliaire à aimants perma-

(*) Un solénoïde, parcouru par un courant d'intensité donnée, acquiert une force magnétique beaucoup plus intense lorsqu'on place dans son intérieur un noyau de fer doux. La présence du noyau de fer doux dans une machine d'induction a *pour résultat* d'augmenter considérablement la valeur que prend, pour une vitesse de rotation donnée, la quantité qui sera désignée plus loin par M. Une expérience intéressante consisterait à comparer les effets obtenus à égales vitesses, de deux appareils à aimants inducteurs permanents, dont l'un aurait un noyau de fer doux et l'autre un noyau inerte, mais du reste parfaitement identiques entre eux.

nents, le plus souvent par le courant induit lui-même; dans ce dernier cas, l'hélice des électro-aimants appartient à la partie fixe du circuit d'induction, et elle doit être formée d'un fil court et gros pour ne pas augmenter inutilement la résistance.

3° Dans ce dernier cas encore, la mise en marche de l'appareil n'exige pas, comme cela semblerait naturel, l'intervention momentanée d'une source extérieure d'électricité; elle se réalise sans cela, par suite du résidu très-faible de magnétisme qui existe toujours dans les noyaux des électro-aimants par le fait d'avoir été aimantés une première fois. Ce résidu suffit pour déterminer un courant induit très-faible dès le premier mouvement imprimé à l'appareil; ce courant apporte en retour une certaine addition au résidu primitif, et ainsi de suite, en sorte que le courant produit tout d'abord s'alimente lui-même progressivement jusqu'à une certaine limite d'intensité qui dépend de la vitesse imprimée à l'appareil.

4° Les aimants ou électro-aimants inducteurs, au lieu d'être rectilignes, sont repliés sur eux-mêmes et sont groupés ensemble de manière à se terminer en commun à deux pièces nommées *armatures*, dont l'une réunit tous les pôles d'une même espèce et l'autre tous les pôles de l'autre espèce. Entre les deux armatures placées en regard l'une de l'autre, est un intervalle dans lequel se trouve le conducteur mobile disposé de manière à tourner autour d'un axe parallèle à leur longueur; elles sont même entaillées en arc de cercle de manière à l'entourer jusqu'à un certain point.

Ces caractères ne s'appliquent pas aux machines, déjà anciennes, dites de l'*Alliance*. Comme celles-ci ne paraissent pas appelées à beaucoup d'avenir, et sont d'ailleurs décrites dans tous les traités de physique, nous ne nous y arrêterons pas ici, et nous rapporterons à trois types les générateurs dont la description nous paraît utile.

9. *Premier type. Machine de Gramme.* — Le noyau de la bobine ou hélice mobile a la forme d'un anneau. C'est un solide de révolution engendré par une figure oblongue régulière tournant autour d'un axe O parallèle à sa longueur. Son axe de rotation coïncide avec cet axe de figure. Ce noyau acquiert par influence deux pôles induits, l'un nord N' vers l'armature sud, l'autre sud S' vers l'armature nord, et situés vers les extrémités du méridien qui passe par les pôles inducteurs. Quand l'anneau est en mouvement, ils ne sont pas entraînés par lui; au contraire, ils se déplacent dans la matière de l'anneau, mais demeurent fixes dans l'espace. Chaque spire de l'hélice est donc en mouvement par rapport aux pôles induits et aux pôles inducteurs tout à la fois (*fig.* 9 et 10).

Pour se rendre compte de la production des courants, il faut envisager les deux catégories de pôles séparément.

L'anneau, avec ses deux pôles induits situés sur un même plan diamétral, peut s'assimiler à la réunion de deux aimants identiques infléchis en demi-cercle et se joignant par leurs pôles semblables. Il en résulte, si l'on se reporte à ce qui a été dit au § 6, et si l'on admet que le mouvement de rotation ait le sens indiqué par la flèche, que, lorsqu'une spire est placée du même côté de la *ligne neutre xy* que S', elle est parcourue par un courant allant du dedans au dehors sur la face vue, et que, lorsqu'elle est au contraire du côté de N', elle est parcourue par un courant allant du dehors au dedans.

Quant aux pôles inducteurs N et S, ils se contrecarrent également sur la ligne neutre et n'y produisent pas de courant. Considérons une spire isolée en mouvement; lorsqu'elle est près de la ligne neutre, les actions de N et de S contrecarrent respectivement celles de S' et de N', mais vu leur plus grande distance, elles ne font que les affaiblir. A mesure que la spire s'approche de la ligne des pôles, la différence de distance entre N et S', ou entre S et N', s'ac-

centue, en sorte que la prépondérance de S′ sur N, ou de de N′ sur S, s'accentue également. Enfin quand la spire atteint une des positions a_0b_0, a_1b_1, qui correspondent aux angles a_0c_0N, a_1c_1S pour lesquels l'inversion a lieu, les pôles N et S, au lieu de contrecarrer S′ et N′, conspirent avec ceux-ci, en sorte que le courant éprouve un renforcement énergique qui continue jusqu'à ce que la spire franchisse les positions symétriques $a'b'$ et $a''b''$ (*).

Le sens des courants des spires sera donc le même que si les pôles induits existaient seuls. Les pôles inducteurs agissent seulement pour modifier la loi suivant laquelle l'intensité du courant dans une spire varie avec la situation de celle-ci, et en somme ils augmentent cette intensité.

Les spires étant continues entre elles, on aura dans chaque moitié xS′y, yN′x de la bobine un courant dont l'intensité sera la somme des intensités de ceux qui existeraient respectivement dans chaque spire envisagée comme conducteur fermé. Comme les spires sont uniformément disposées, les diverses phases d'un même tour de rotation n'amènent aucune variation dans cette somme d'intensités; les courants des deux moitiés sont donc constants et égaux entre eux.

Si le circuit était uniquement formé par l'ensemble des spires disposées autour de l'anneau, les deux courants se neutraliseraient, et, en définitive, on n'en aurait aucun. Pour pouvoir en recueillir un, il faudrait pratiquer sur la bobine deux dérivations à la hauteur de la ligne neutre, l'une du côté vers lequel marchent les deux courants, l'autre du côté d'où ils partent. Un conducteur extérieur,

---

(*) Dans une analyse complète de cet effet, il faudrait tenir compte de ce que le plan du conducteur n'est pas animé d'un simple mouvement de translation. Son mouvement, entre deux positions infiniment voisines, peut être envisagé comme composé d'une translation et d'une rotation autour d'un axe qui passerait par le centre du conducteur et serait parallèle à l'axe O.

reliant ces deux dérivations, sera parcouru par un courant provenant de la superposition des deux précédents, et allant de la première, qui jouera le rôle du pôle positif d'une pile, à la seconde qui jouera le rôle du pôle négatif. Pour un même sens de la rotation de l'anneau, les côtés qui correspondent aux dérivations positive et négative dépendent du sens de l'enroulement du fil sur l'anneau (*fig.* 11).

L'inventeur a ingénieusement réalisé cette disposition théorique en subdivisant l'hélice en plusieurs tronçons identiques *ab*, *bc*, *cd* (*fig.* 12) qui se font suite les uns aux autres par l'intermédiaire de pièces de cuivre radiales *r* (*fig.* 10 et 12), dont chacune reçoit la fin du fil d'un tronçon et le commencement du fil du tronçon consécutif. Ces pièces sont séparées par des couches de matière isolante, en sorte qu'elles ne peuvent communiquer électriquement que par ces hélices partielles. Elles se continuent sur l'axe de rotation sur une certaine longueur, en formant autour de lui un manchon *m*, divisé suivant ses génératrices en autant de parties qu'il y a de ces pièces. Sur ce manchon, et suivant la ligne neutre, viennent s'appuyer deux pièces métalliques *d* qui effectuent les dérivations; elles sont formées de pinceaux ou balais en fils de cuivre argentés (*fig.* 12).

Les pièces radiales contribuent jusqu'à un certain point à la solidarité mécanique entre l'anneau et l'axe; mais celle-ci est surtout assurée par un mandrin en bois *b* qui occupe l'espace annulaire compris entre eux (*fig.* 10).

10. *Deuxième type. Machines de Bürgin et de Lontin.* — Considérons un cylindre de fer doux tournant entre les pôles inducteurs autour d'un axe O qui est à angle droit avec lui et passe par son milieu (*fig.* 13). Son magnétisme, nul quand il passe par la ligne neutre xOy, va en augmentant à mesure qu'il se rapproche de la ligne des pôles NS: l'extrémité la plus rapprochée du pôle nord contient un pôle induit sud S′, et la plus rapprochée du pôle sud un pôle induit nord N′. Il s'agit d'analyser les effets d'induc-

tion qui se produisent dans un conducteur *acb*, qui entoure le barreau sans se déplacer longitudinalement et l'accompagne dans sa rotation.

Ce conducteur est, il est vrai, immobile par rapport aux pôles induits, mais leurs variations d'intensité produisent le même effet que s'ils se déplaçaient relativement à lui. Le sens du mouvement étant indiqué par la flèche, considérons le barreau dans la position N'OS', c'est-à-dire le conducteur dans le quadrant 1. Le pôle S' possède une force magnétique M', qui dépend de l'angle S'ON et atteint son maximum M_1 quand cet angle est nul, c'est-à-dire quand S' vient en S_1. Si le conducteur *acb* était parcouru par un courant, l'action qu'il éprouverait du pôle S' pourrait être remplacée par celle d'un pôle S'_1 de magnétisme M_1, situé sur l'axe du barreau à une distance $x = \overline{S'S'_1}$ déterminée par $\frac{(x+a)^2}{a^2} = \frac{M_1}{M'}$, *a* étant la distance $\overline{S'c}$. Quand la rotation amène le pôle S' en S_1 et porte son magnétisme de M' à M_1, les choses se passent pour le conducteur *acb* transporté en $a_1c_1b_1$ comme s'il fût resté en place et que le pôle S'_1 de magnétisme M_1 se fût transporté en S' en franchissant la distance *x*. De même, en ce qui concerne le pôle N', les choses se passent comme si le conducteur était immobile et que le pôle N'_1, censé contenir le magnétisme M_1, s'en fût rapproché en passant de la distance $\overline{N'_1c} = 2l - a + x'$ à la distance $\overline{N'c} = 2l - a$, $2l$ étant la longueur du barreau et x' étant déterminé par $\frac{(x'+2l-a)^2}{(2l-a)^2} = \frac{M_1}{M'}$.

Or un conducteur fermé dont se rapproche un pôle *sud* (situé sur la perpendiculaire menée au plan du conducteur par son centre) est parcouru par un courant induit qui, vu du pôle, est *direct*; si c'est un pôle *nord* qui s'en rapproche, le courant, vu de ce pôle, est *inverse*. Ici les deux effets ont lieu simultanément, et comme le conducteur se trouve placé

entre les deux pôles qui se rapprochent de lui, les courants qui leur sont respectivement dus sont de sens identiques et s'ajoutent. On aura donc un courant qui, vu de l'extrémité du barreau la plus rapprochée, sera direct.

Quand *acb* est dans le quadrant 2, les deux pôles S′ et N′ vont tous deux s'affaiblissant, et s'éloignent donc virtuellement du conducteur. Le courant induit sera inverse vu de S′ et direct vu de N′, ce qui revient au même, et vu de l'extrémité la plus rapprochée il sera inverse.

Au passage de la ligne neutre xOy, la polarité du barreau est intervertie. Dans le quadrant 3, les deux pôles se rapprochent de nouveau virtuellement du conducteur et le sens du courant est le même pour les mêmes pôles que dans le quadrant 1. Mais comme le pôle le plus voisin de *acb* est devenu nord, le courant vu de ce pôle est inverse.

Enfin quand *acb* sera entré dans le quadrant 4, les deux pôles s'en éloignent virtuellement comme dans le quadrant 2, et le sens du courant relativement aux pôles de même nom sera le même que dans ce quadrant. Seulement le pôle le plus rapproché est nord et le courant vu de ce pôle est direct comme en commençant.

C'est donc au passage de la ligne des pôles que les changements de sens du courant ont lieu.

Reste à examiner l'action des pôles inducteurs qui est moins intense à cause de leur plus grande distance. Vu la symétrie, il suffira d'étudier celle du pôle N dans le parcours du quadrant 1.

Menons par N la tangente Nc_0 au cercle de rayon Oc. Tant que l'axe du barreau est compris entre la ligne neutre et Oc_0, un observateur placé en N voit *a* à gauche et *b* à droite, et l'angle de Nc avec la normale au plan du conducteur (c'est-à-dire avec l'axe du barreau), angle que nous appellerons pour abréger l'*incidence*, croît depuis une certaine valeur assez grande jusqu'à 90°. Quand l'axe marche de Oc_0 à la ligne des pôles, l'observateur voit *a* à droite,

b à gauche, et l'incidence décroit de 90° à 0°. On peut, d'après cela, diviser le parcours du quadrant en quatre phases :

L'observateur voit *a* à gauche et *b* à droite.	incidence inférieure à l'angle d'inversion. — comprise entre l'angle d'inversion et 90°.
L'observateur voit *a* à droite et *b* à gauche.	incidence comprise entre l'angle d'inversion et 90°. — inférieure à l'angle d'inversion.

La première phase ne peut exister que pour un conducteur *ab* très-voisin de S', et est en tout cas très-courte : on peut la négliger et ne s'occuper que des trois autres.

Le sens du courant induit que l'on obtient en approchant un conducteur fermé d'un pôle change suivant que celui-ci est placé d'un côté ou de l'autre du plan du conducteur; mais, vu du pôle, ce sens ne change pas. Si le pôle est nord ce sens est le direct ou l'inverse suivant que l'angle d'inversion est dépassé ou ne l'est pas.

Par conséquent le courant induit dû à N, et supposé vu de l'extrémité S' du barreau, sera *inverse* dans la première phase, *direct* dans la seconde et de nouveau *inverse* dans la dernière. En d'autres termes il *affaiblit* dans la première phase, il *renforce* dans la seconde, et il *affaiblit* de nouveau dans la dernière le courant dû à l'accroissement d'intensité du pôle S'.

On comprend que la proportion de ces phases entre elles varie suivant la position qu'occupe le conducteur *acb* sur le barreau.

Les choses se passeraient de même dans les autres quadrants. En somme, le courant induit a le sens que détermine l'action des pôles induits; les pôles inducteurs en modifient seulement l'intensité tantôt en plus tantôt en moins.

Maintenant, au lieu d'un seul conducteur *acb*, supposons une série de conducteurs pareils juxtaposés d'un bout à l'autre du barreau. Le sens de la rotation étant toujours celui de la flèche, à un instant donné la moitié d'entre eux seront dans le demi-cercle S_1xN_1 et seront parcourus par des courants qui, vus de l'extrémité la plus rapprochée, ont le

sens direct; l'autre moitié seront dans le demi-cercle S_1yN_1, et leurs courants, vus de l'extrémité correspondante, seront inverses, c'est-à-dire auront, absolument parlant, le même sens que les autres.

Si on leur substitue une hélice continue, et si, pour fixer les idées, on suppose cette hélice *dextrorsùm*, ces courants partiels se superposeront en un courant total qui marchera de l'extrémité située dans le demi-cercle S_1xN_1 à l'extrémité située dans le demi-cercle S_1yN_1.

Enfin supposons, comme dans la réalité, que l'hélice soit interrompue par le passage de l'arbre de rotation et remplacée par deux demi-hélices, et que, au lieu d'un seul barreau il y en ait plusieurs disposés en rayonnant autour de cet arbre et pourvus chacun des deux demi-hélices, on voit alors que, à un instant donné, toutes les demi-hélices situées dans le demi-cercle S_1xN_1 seront parcourues par un courant allant de la périphérie au centre, et toutes celles situées dans le demi-cercle S_1yN_1 par un courant allant du centre à la périphérie (*fig.* 14).

Dans la machine *Bürgin* les barreaux sont des cylindres à base circulaire et sont répartis en plusieurs croisillons situés dans différents plans perpendiculaires à l'axe de rotation (*). Chaque croisillon se compose de deux barreaux à angle droit, par conséquent de quatre demi-hélices. Les différents croisillons sont orientés de façon à ce qu'en projection les axes des barreaux figurent des rayons équidistants. (Voir la *fig.* 15 où un même chiffre désigne les axes des demi-hélices appartenant à un même croisillon.) Dans la machine *Lontin* (*fig.* 16) il n'y a qu'un seul croisillon

(*) Pour rendre applicable à cette machine ce qui a été dit au commencement du § 4, il faudrait supposer que les armatures soient partagées, par des plans équidistants et perpendiculaires à l'axe de rotation, en autant de parties qu'il y a de croisillons, et que chaque croisillon subisse exclusivement l'action (évidemment très-prépondérante), des pôles partiels appartenant à la portion d'armature qui lui correspond.

qui est plus grand et porte un plus grand nombre de barreaux, 5 à 6 par exemple, soit 10 à 12 demi-hélices; les barreaux ont une section oblongue très-allongée parallèlement à l'axe de rotation.

Cet axe porte à une de ses extrémités un manchon concentrique *m* en cuivre, divisé suivant les génératrices, en autant de segments qu'il y a de demi-hélices dans la bobine tournante. Ces segments sont isolés électriquement les uns des autres, chacun d'eux reçoit le bout final d'une des demi-hélices et le bout initial de la suivante. Par suite de cette disposition, les courants de toutes les demi-hélices situées à un instant donné d'un même côté du plan NS se superposent en un même courant qui part d'un des deux segments de cuivre situés à cet instant dans le plan NS et se dirige vers le second de ces segments; les courants de toutes les demi-hélices placées de l'autre côté de NS forment un second courant égal au premier qui a le même point de départ et le même point d'arrivée. Si l'on pratique sur le manchon, au moyen de pinceaux ou balais métalliques, deux dérivations *d* situées aux extrémités du plan diamétral NS, et qu'on les réunisse par un conducteur, celui-ci sera parcouru par un courant provenant de la superposition des deux précédents et allant de la dérivation vers laquelle marchent les deux courants partiels à la dérivation de laquelle ils partent.

Les deux types de générateurs que nous venons de passer en revue (*) se ressemblent en ceci, c'est qu'ils fournissent un

(*) L'expérience a montré que, dans l'un et l'autre type, le diamètre joignant les contacts des pinceaux avec le manchon ne devait pas occuper exactement la position assignée par la théorie, mais être déplacé d'un certain angle *dans le sens du mouvement de rotation*. Ce fait paraît devoir être attribué, non à la force coërcitive dont le fer doux n'est pas absolument exempt, mais aux réactions secondaires qui ont lieu dans l'appareil. (Voir une note succincte de M. Bréguet dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 11 novembre 1878, p. 7[illegible].)

courant continu et de sens constant, tout à fait comparable avec celui qu'on obtiendrait en composant deux batteries voltaïques d'éléments identiques, en nombre égal, arrangés *en série*, associant ensuite ces deux batteries *en arc multiple*, et reliant par le fil conjonctif le double pôle positif au double pôle négatif.

11. *Troisième type. Machines de Siemens, de Wilde et de Ladd.* — Elles sont caractérisées par l'emploi d'une bobine spéciale appelée *bobine de Siemens et Halske*. Elle consiste en un cylindre de fer doux creusé de deux gorges symétriques longitudinales qui réduisent la section métallique à une sorte de double T : le fil d'induction est enroulé autour de l'âme, suivant la longueur de celle-ci, de façon à remplir les gorges et à rétablir la forme ronde. Chaque tour du fil est assimilable à un conducteur fermé, de figure oblongue, ayant son plan perpendiculaire à celui de l'âme. La bobine ainsi constituée tourne autour de son axe de figure entre les armatures des aimants (*fig.* 17).

Ce type de générateur est plus ancien que les deux autres (*). Si nous le réservons pour la fin, c'est parce que, sous des apparences très-différentes, le fonctionnement de l'induction y est le même que dans le second type. Prenons

(*) Voir dans les *Annales de physique et de chimie* (t. XV, année 1868, p. 169), une notice de M. Bertin sur les machines de ce type.

Depuis lors M. Siemens a construit un autre générateur qui rentre dans la caractéristique commune aux deux autres types (voir la fin du § 10). Le noyau est un anneau analogue à celui de Gramme; l'hélice est enroulée non sur l'anneau lui-même, mais sur la face externe d'un anneau mince en maillechort qui entoure le premier à une très-faible distance. Le système formé par le second anneau et par l'hélice participe seul à la rotation, tandis que l'anneau de fer doux demeure immobile à l'intérieur. Ainsi se trouvent évitées une partie des pertes de travail indiquées au § 16. Mais l'indépendance de l'hélice et du noyau offre une difficulté mécanique qui l'a fait abandonner dans les machines de petite dimension, le mode d'enroulement restant le même. Ce système porte aussi le nom de *Hefner von Alteneck*.

en effet un croisillon de machine Lontin, supposé de petit diamètre, mais très-allongé suivant l'axe de rotation ; réduisons le noyau à deux bras opposés occupant un même diamètre, munissons-les de renflements périphériques, enfin, remplaçons les deux demi-hélices par une hélice continue qui, au lieu d'être exclue de la région médiane par la présence de l'arbre de rotation, soit au contraire ramassée dans cette région ; nous aurons exactement réalisé la bobine de Siemens et Halske. Ce qui a été dit au paragraphe précédent du mécanisme de l'induction s'applique donc ici au moins en gros : l'action des pôles inducteurs serait plus compliquée à analyser, en raison de ce que les conducteurs fermés ont ici une plus grande dimension par rapport à l'amplitude de leurs mouvements.

Ici, comme il n'y a qu'une seule hélice, tout se réduit à un courant qui change de sens toutes les fois que le plan de l'âme franchit la ligne des pôles. Un commutateur est nécessaire pour obtenir dans la partie extérieure du circuit un courant de sens invariable (*).

(*) En terminant cette description des générateurs électro-magnétiques, il est peut-être utile de dire quelques mots d'un genre spécial de machine Gramme. Dans cette machine il y a deux séries d'hélices partielles enroulées sur l'anneau; toutes les hélices de rang pair aboutissent à un manchon (§ 9) situé d'un côté de l'anneau, et toutes celles de rang impair à un manchon situé de l'autre côté. Chaque manchon est pourvu de ses deux brosses de dérivation. On peut de cette manière avoir deux circuits extérieurs différents, parcourus chacun par un courant. Mais on peut encore, et c'est ce qu'on fait habituellement, associer ces deux courants en un seul dans un même circuit, et cela de deux façons différentes. Supposons que, dans la figure schématique 24, les chiffres 1.3.5... désignent les tronçons d'hélice impairs et les chiffres 2.4.6... les tronçons pairs ; chaque groupe représente, comme il a été dit à la fin du § 10, deux batteries voltaïques identiques associées en *arc multiple*, les dérivations correspondant aux doubles pôles positif et négatif. Si l'on associe le double pôle positif I au double positif II, et le double pôle négatif I au double pôle négatif II (*fig.* 24, *a*) et qu'on réunisse par un circuit extérieur l'ensemble des pôles positifs à l'ensemble des pôles négatifs, les deux

12. Pour pouvoir se rendre compte des causes qui déterminent l'intensité du courant produit par un générateur, il faut envisager pendant un moment les phénomènes qui accompagnent le courant de la pile. Quand ce courant est en activité, sa production est déterminée par l'accomplissement, dans l'intérieur de la pile, d'une certaine quantité d'action chimique qui représente un travail *positif* des affinités, et qui est la source de l'énergie mécanique du courant. Si le courant n'accomplit aucun travail externe (tel qu'une électrolyse, ou le fonctionnement d'un moteur), toute son énergie se transforme en chaleur qui se dégage dans l'ensemble du circuit, c'est-à-dire dans la pile et le conducteur interpolaire. La chaleur dégagée dans le circuit, pendant un certain temps, est alors l'équivalent du travail positif net que les affinités accomplissent dans la pile durant ce même temps.

De même, lorsqu'il s'agit d'un courant induit, son énergie mécanique est l'équivalent du travail dépensé pour le produire. Par conséquent, la chaleur qui se dégage dans l'ensemble du circuit d'un courant induit quand celui-ci n'accomplit aucun travail externe est l'équivalent de cette dépense.

L'expérience a prouvé que la chaleur dégagée pendant l'unité de temps dans un circuit parcouru par un courant est proportionnelle au carré de l'intensité du courant et à

---

groupes auront été à leur tour associés *en arc multiple*, ou comme on disait autrefois *en quantité*. Si au contraire on relie directement (*fig.* 24, *b*), un des doubles pôles positifs avec un des doubles pôles négatifs et qu'on fasse rejoindre les deux doubles pôles restants par le circuit extérieur, on aura associé les deux groupes *en série* ou comme on disait autrefois *en tension*.

Il est tout à fait inutile, pour l'objet qui nous occupe, de parler des modifications d'une toute autre nature qui ont été apportées, soit à la machine Gramme, soit à la machine Lontin, pour en obtenir des courants indépendants et de sens alternatif en vue de l'éclairage par le procédé Jabloschkoff.

la résistance du circuit; c'est ce qu'on nomme la *loi de Joule*. En désignant par Q cette quantité de chaleur, par i l'intensité et par R la résistance, on aura donc:

$$Q = Ai^2R \qquad (1)$$

A étant le rapport de proportionnalité dont la grandeur dépend des unités choisies pour exprimer i et R. Si on exprime i et R en unités absolues de courant et de résistance, le produit i^2R exprimera par cela même, en unités absolues de travail correspondantes, le travail dont Q est l'équivalent, et le rapport A sera l'équivalent thermique de cette unité de travail.

Par conséquent, si on désigne par dW le travail dépensé pendant l'élément de temps dt pour produire le courant induit, l'intensité de celui-ci sera régie par la relation générale:

$$dW = i^2Rdt \qquad (2)$$

dW étant une fonction de i qu'il s'agit de déterminer.

13. Considérons un élément de conducteur de longueur ds appartenant à la portion mobile du circuit de résistance R. En vertu de ce qu'il est parcouru par un courant induit dont on nomme l'intensité i, un des pôles agissants exerce sur lui une action de grandeur $\frac{Mids \sin\alpha}{x^2}$ (voyez § 2), de direction et de sens connus. Si on nomme $d\sigma$ la grandeur du déplacement que l'élément éprouve pendant le temps dt et φ l'angle de $d\sigma$ avec la direction de la force, le travail exigé pour le déplacement sera $\frac{M i ds \sin\alpha}{x^2} d\sigma \cos\varphi$. Le travail pour toute la partie mobile du circuit, en observant que i et M demeurent les mêmes pour tous les éléments ds, sera $iM \int \frac{ds \sin\alpha\, d\sigma \cos\varphi}{x^2}$, l'intégration s'étendant à toute cette partie mobile, et étant censée faite par rapport à s

dont x, α, σ et φ peuvent être considérés comme des fonctions. En groupant ensemble les actions de tous les pôles (*), on aura :

$$dW = i\Sigma\left(M\int \frac{ds \sin\alpha\, d\sigma \cos\varphi}{x^2}\right).$$

Dans un générateur de courant, le mouvement est uniquement une rotation autour d'un axe. Si r est la distance de l'élément ds à cet axe et ω la vitesse angulaire, on aura $d\sigma = r\omega dt$, expression où r seul dépend de s, et

$$\int \frac{ds \sin\alpha\, d\sigma \cos\varphi}{x^2} = \omega\, dt \int \frac{ds \sin\alpha\, r \cos\varphi}{x^2}.$$

Cette dernière intégrale a, dans un appareil donné, une valeur parfaitement déterminée pour le pôle de force M auquel on rapporte les quantités x, α et φ, et l'on peut, en raison de la symétrie de construction, admettre que cette valeur est la même c pour les deux pôles de l'aimant en question. En tenant compte de l'action simultanée de plusieurs aimants, tant inducteurs qu'induits, on pourra écrire:

$$dW = i\omega dt(2Mc + 2M'c' + 2M''c'' + \text{etc.}).$$

Mais on peut encore considérer le magnétisme des différents aimants comme proportionnel à celui d'un d'entre eux M qui sera, en quelque sorte, leur commune mesure, et poser:

$$M' = m'M \quad M'' = m''M \text{ etc.},$$

et, par suite, écrire :

$$dW = i\omega dt M(2c + 2c'm' + 2c''m'' + \text{etc.}) = i\omega dt MC \quad (3)$$

(*) Dans les appareils à électro-aimants, il faudrait en outre tenir compte de l'action inductrice qui s'exerce entre les spires de la bobine mobile et les spires de l'électro-aimant. Mais comme elle est très-faible par rapport à l'action inductrice électro-magnétique, nous pouvons la négliger.

C étant une constante propre à un appareil donné, et qui, en raison de la forme de la différentielle $\frac{ds \sin \alpha r \cos \varphi}{x^2}$ et de la manière dont elle dérive de celle-ci, est un nombre abstrait, c'est-à-dire indépendant des unités que l'on adopte.

En combinant les équations (2) et (3) nous aurons :

$$i^2 R dt = i\omega dt MC$$

ou

$$iR = \omega MC, \qquad (4)$$

équation où M est encore une fonction de i comme nous le verrons.

Il est probable que la détermination *a priori* de la constante C est impossible. Indépendamment des difficultés de l'intégration dont elle dépend, elle exigerait la connaissance de la situation exacte des pôles tant inducteurs qu'induits, ainsi que des rapports entre leurs magnétismes. Expérimentalement, on peut déterminer le produit MC, mais non en isoler le facteur C. Néanmoins, nous continuerons à laisser celui-ci en évidence.

La détermination de MC s'obtiendra en faisant marcher, à différentes vitesses connues, un générateur pour lequel R sera connu, et en mesurant pour chaque vitesse de rotation l'intensité i du courant obtenu. On pourra ainsi pour chaque valeur de ω calculer la quantité $\frac{iR}{\omega}$, qui d'après l'équation (4) est précisément égale à MC, et en déduire la loi qui lie cette quantité avec i.

14. En attendant que des observations de ce genre aient été faites sur un nombre suffisant de générateurs, on peut indiquer provisoirement et faute de mieux quelques formules propres à exprimer la loi régissant MC.

Si le générateur est à aimants permanents, il semble d'abord que M soit constant. Mais en réalité le magnétisme de ces aimants éprouve, par le fait du fonctionnement de l'appareil, une réaction qui se rattache à l'induction elle-

même. On s'en rendra mieux compte en assimilant l'aimant à un solénoïde. Si l'on approche d'un des pôles de celui-ci (Voy. *fig.* 18, où l'on a supposé le pôle *sud*) un conducteur fermé, non-seulement un courant induit de sens opposé à celui du solénoïde prendra naissance dans le conducteur; mais un pareil courant prendra naissance dans le solénoïde lui-même, et en affaiblira le courant préexistant. Si au contraire on éloigne le conducteur de ce pôle, un courant induit de même sens prendra naissance, soit dans le conducteur, soit dans le solénoïde, et renforcera le courant préexistant dans celui-ci. Semblablement, s'il s'agit d'un aimant, il y aura affaiblissement de l'aimantation dans le premier cas, et renforcement dans le second. Ces deux effets pourraient être considérés comme se compensant si l'aimant était éloigné de son point de saturation, mais comme il en est généralement très-voisin, l'effet de renforcement sera moins sensible que celui d'affaiblissement, et celui-ci sera prédominant. Si l'on suppose que l'excès de ce dernier effet sur le premier soit proportionnel à l'intensité, on posera :

$$M = M_0 - \mu i \qquad (5)$$

ce qui combiné avec (4) donnera :

$$i = \frac{\omega C M_0}{R + \omega C \mu} \quad \text{ou} \quad \omega = \frac{Ri}{C(M_0 - \mu i)}. \qquad (6)$$

Tandis que M serait représenté en fonction de i par l'ordonnée de la droite AB (*fig.* 19) dont l'équation est (5), et par conséquent s'annulerait pour $i = \overline{OB} = \frac{M_0}{\mu}$, la vitesse angulaire ω nécessaire pour produire l'intensité i se trouverait représentée par l'ordonnée de l'arc d'hyperbole OC, ayant pour asymptote la droite BN parallèle à l'axe des ordonnées et correspondant précisément à $i = \frac{M_0}{\mu}$.

L'intensité ne pourrait donc pas dépasser la limite $\frac{M_0}{\mu}$, et cette limite correspondrait à une vitesse infinie; cette remarque est sans grand intérêt, car il est probable que l'équation (5) ne peut être valable qu'autant que la diminution μi est petite par rapport à M_0.

Si le générateur est à électro-aimants, et c'est le cas le plus important au point de vue industriel, M dépend évidemment de l'intensité. La valeur que prend M pour $i = o$, et qu'on nomme *magnétisme rémanent*, est assez faible pour être négligée quand on considère une machine en marche régulière, malgré le rôle important qu'elle joue dans la mise en train. Pour de faibles intensités, et pour de petites variations de l'intensité, M est à peu près proportionnel à i, mais tend vers une limite déterminée, quand i croît indéfiniment. Pour de très-fortes intensités on pourrait à la rigueur assimiler le magnétisme de l'électro-aimant à celui d'un aimant permanent. Si l'on voulait exprimer M en fonction de i par une relation empirique et continue qui tînt compte des faits précédents, on pourrait représenter cette grandeur par l'ordonnée d'une hyperbole équilatère, comptée à partir d'une droite menée parallèlement à l'asymptote et du côté concave, les intensités correspondantes étant représentées par les abscisses comptées sur cette parallèle, à partir de sa rencontre avec la courbe. Soit $x'y' = aM_0$ l'équation de cette hyperbole rapportée aux asymptotes $O'x'$ et $O'y'$ (*fig.* 20), $M_0 = \overline{OA}$ étant la limite vers laquelle croît M, et $a = \overline{BO}$ étant l'abscisse indéterminée du point O pour lequel $y' = M_0$. Son équation rapportée aux nouveaux axes Ox et Oy s'obtiendra en posant $y' = M_0 - y$; $x' = a + x$, et sera par conséquent :

$$(a + x)(M_0 - y) = aM_0 \quad \text{ou} \quad xy + ay - M_0 x = o.$$

Pour déterminer a, supposons que l'on connaisse le rapport de proportionnalité de M avec i pour les plus

faibles courants, rapport qui sera représenté ici par la valeur λ que prend $\frac{dy}{dx}$ pour $x = 0$; nous avons en différentiant :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{aM_0}{(a+x)^2}$$

et par conséquent, pour $x = 0$, $\frac{dy}{dx} = \lambda = \frac{M_0}{a}$, d'où $a = \frac{M_0}{\lambda}$. La courbe sera entièrement déterminée par M_0 et λ, et aura pour équation :

$$\lambda xy + M_0 y - \lambda M_0 x = 0 \qquad \text{d'où} \qquad y = \frac{M_0 \lambda x}{M_0 + \lambda x}.$$

Le magnétisme de l'électro-aimant serait alors représenté en fonction de i par $\frac{M_0 \lambda i}{M_0 + \lambda i}$. Mais on rendra mieux compte des faits observés (V. § 15) en introduisant encore ici le terme $-\mu i$, et en posant :

$$M = \frac{M_0 \lambda i}{M_0 + \lambda i} - \mu i. \qquad (7)$$

M sera représenté ainsi par l'ordonnée de la courbe OMG comptée non à partir de Ox, mais à partir de la droite Ou dont l'angle avec Ox aurait μ pour tangente ; ou bien encore (*fig.* 21), on comptera cette ordonnée à partir de Oi, mais après avoir fait pivoter la courbe autour de O d'un angle égal à uOx, et on la divisera par le cosinus de cet angle. On remarquera que μ est nécessairement $< \lambda$.

L'équation (7) combinée avec (4) donnera :

$$\left.\begin{aligned} i &= \frac{\omega C M_0(\lambda - \mu) - RM_0}{\omega C \lambda \mu + R\lambda} \\ \text{ou} \qquad \omega &= \frac{RM_0 + R\lambda i}{CM_0(\lambda - \mu) - C\lambda\mu i} \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

La vitesse de rotation ω nécessaire pour produire une

intensité i serait alors représentée en fonction de cette intensité par l'ordonnée d'une autre hyperbole CD (*fig.* 21) possédant une asymptote GH parallèle aux ordonnées, et celle-ci correspondrait encore à la valeur de i qui annulerait M dans l'hypothèse invraisemblable où la loi exprimée par (7) serait valable pour toute valeur de i.

On peut reprocher au mode de représentation de M par (7) qu'il conduit pour $i = 0$ à une valeur de ω qui n'est pas nulle; cette conséquence inadmissible indiquerait qu'il ne faudrait pas l'appliquer à de faibles intensités ou à de faibles vitesses angulaires.

15. M. E. Hagenbach-Bischoff, le savant professeur de physique de l'Université de Bâle, a publié en 1876 les résultats de plusieurs séries d'expériences sur une machine de Gramme (*), chaque série correspondant à une valeur différente de R. En calculant pour chacune d'elles les valeurs de $\frac{iR}{\omega} = \text{MC}$, nous avons trouvé que la courbe, qui exprime cette quantité en fonction de i, a une forme qui se rapproche assez de la courbe OG de la *fig.* 21. Seulement les données disponibles ne permettent pas de la tracer sur une assez grande étendue pour voir si l'ordonnée M (ou MC, ce qui revient au même) tend vers 0 comme cela résulterait de l'équation (7), ou si, après avoir dépassé le maximum $\overline{\text{MP}}$, elle tend vers une valeur qui ne soit pas nulle. Du reste les courbes correspondant aux diverses séries, c'est-à-dire aux diverses valeurs de R, ne se su-

---

(*) Dans cette machine, la partie du circuit enroulée sur le noyau mobile, avait pour résistance $0,592 \times 10^9$, la partie enroulée sur le noyau de l'électro-aimant $1,203 \times 10^9$, en tout $1,795 \times 10^9$. On voit que dans la première série d'expériences, la partie extérieure du circuit était supprimée. Le travail de M. Hagenbach (*Archives des sciences physiques et naturelles* de Genève, tome LV, page 255) a été reproduit dans le récent ouvrage de M. Fontaine sur *l'éclairage par l'électricité*.

perposent pas : il semblerait donc que R exerce une influence indirecte sur M. Dans la machine en question,

$$\text{pour } R = \begin{cases} 10^9 \times 1,795 \\ 10^9 \times 2,282 \\ 10^9 \times 4,660 \end{cases} \text{le maximum de MG a pour valeur environ : } \begin{cases} 10^8 \times 0,350 \\ 10^8 \times 0,334 \\ 10^8 \times 0,438 \end{cases} \text{et correspond à peu près à : } i = \begin{cases} 1,18 \\ 0,97 \\ 0,80 \end{cases}$$

Quant à la courbe dont l'ordonnée représente ω en fonction de i, elle a en gros la forme de la courbe CD de la *fig.* 21, c'est-à-dire qu'elle a une légère concavité tournée vers l'axe des ordonnées.

Il y a une circonstance qui tend à altérer les résultats de ce genre d'expériences : c'est le dégagement de chaleur qui se produit dans le circuit et qui amène une élévation de la température du fil de cuivre dont le circuit est formé, et par suite une augmentation de la résistance. Les intensités croissantes qu'on obtient dans la même série, au moyen de vitesse progressives, correspondent en réalité, non à une résistance identique, mais à des résistances *légèrement* croissantes ; il est probable que si l'on avait pu tenir compte de cette circonstance, et corriger les résultats en conséquence, la diminution que $\frac{iR}{\omega}$ éprouve à partir d'une certaine limite aurait été un peu moins accentuée. Pour échapper à cette cause d'erreur, il faut s'arranger pour absorber la chaleur au fur et à mesure qu'elle se dégage dans le circuit, de manière à rendre invariable la température de celui-ci.

16. Puisque l'énergie mécanique du courant, dans l'unité de temps, est égale à i^2R, il est évident que le travail dépensé dans l'unité de temps pour produire le courant est au moins égal à i^2R, et doit même excéder cette quantité de toutes les pertes de travail qui interviennent. Or, indépendamment du travail consommé par les frottements ordinaires, il faut tenir compte d'autres pertes plus importantes qui résultent du jeu même des actions électro-magnétiques, et que nous allons indiquer :

a) Les changements de polarité qu'éprouvent les noyaux en fer dans des bobines mobiles, par suite de leurs mouvements relativement aux aimants inducteurs, absorbent une certaine quantité de travail qui est perdue parce qu'elle est convertie en chaleur en dehors du circuit. L'expérience a démontré qu'on diminue cette perte en supprimant la continuité de la matière des noyaux, par exemple en formant ceux-ci non de fer compact et d'une seule pièce, mais d'un faisceau de fils plus ou moins gros. Dans les machines à courant continu, les seules qui nous intéressent ici, le travail nécessaire à l'aimantation des électro-aimants inducteurs est dépensé une fois pour toutes à chaque mise en train, et il n'y a pas à le compter; mais dans les machines à courants discontinus, qu'on préfère souvent pour la lumière, il doit être dépensé aussi pour ces électro-aimants à chaque changement de sens du courant.

b) Le mouvement du noyau par rapport aux pôles inducteurs donne lieu, dans l'intérieur même de sa masse, à des courants induits qui s'opposent au mouvement, et le travail résistant qu'il faut dépenser pour maintenir celui-ci se transforme en chaleur. C'est ce que l'on réalise, dans une expérience classique due à Foucault, avec une masse de cuivre : la grande conductibilité de ce métal donne lieu à des effets plus intenses que ceux qu'on obtiendrait avec du fer. Du reste, l'existence même du fil enroulé autour du noyau diminue ce genre d'effet et atténue le travail résistant perdu au profit du travail résistant utile.

c) L'existence des commutateurs donne lieu à une perte de travail par le fait que le chemin suivi par le courant se déplace au sein d'une masse métallique. Le passage du courant exige un travail moléculaire initial qui est acquis une fois pour toutes quand le trajet demeure le même, mais qu'il faut renouveler quand le trajet se déplace.

Nous nommerons ***rendement du générateur*** le rapport k entre l'énergie mécanique i^2R du courant obtenu et le tra-

vail W′ qu'on dépense dans l'unité de temps pour produire l'intensité i. Nous aurons ainsi :

$$W' = \frac{i^2R}{k} = \frac{i\omega MC}{k}. \qquad (9)$$

Sa détermination exige que la mesure de l'intensité i soit accompagnée de la mesure dynamométrique du travail dépensé pour la même vitesse angulaire ω.

17. Nous devons à l'obligeance de M. Hagenbach-Bischoff la communication de quelques expériences toutes récentes et encore inédites qu'il a exécutées à ce sujet. M. Hagenbach nous a donné les résistances exprimées en *unités Siemens*, et les intensités exprimées en *unités chimiques* correspondant à 9 milligrammes d'eau décomposée *par minute*. L'unité Siemens vaut $0{,}955 \times 10^9$ unités absolues de résistance. L'unité absolue de courant correspondant à 0,937 milligramme d'eau décomposée *par seconde*, l'unité chimique vaudra $\frac{9}{0{,}937 \times 60} = 0{,}16021$ *unité* absolue. Si i et R sont exprimés en unités absolues d'intensité et de résistance, i^2R se trouvera exprimé en unités absolues de travail, dont chacune est au kilogrammètre, évalué à la latitude où la gravité est de $[g]$ centimètres, dans le rapport de $1 : [g] \times 10^5$; nous pouvons prendre pour ce rapport $1 : 981 \times 10^5$. La machine expérimentée par M. Hagenbach est une machine de Gramme où la résistance du circuit mobile a pour valeur $0{,}439 \times 10^9$, et celle du fil des électro-aimants inducteurs $0{,}592 \times 10^9$, ensemble $1{,}031 \times 10^9$; il complétait le circuit par des résistances extérieures variables. Voici maintenant les résultats des expériences :

Nombre de tours par minute. . .	935	919,5	900,5	893
Résistance totale en unités Siemens.	2,55	3,82	4,94	6,06
Résistance totale en unités absolues.	$2,435 \times 10^9$	$3,648 \times 10^9$	$4,718 \times 10^9$	$5,787 \times 10^9$
Intensité en unités chimiques. .	17,67	10,99	8,09	6,28
— en unités absolues. . .	2.828	1.759	1.295	1,005
Travail I^2R en unités absolues. .	$1948,6 \times 10^7$	$1129,2 \times 10^7$	$791,3 \times 10^7$	$584,9 \times 10^7$
— en kilogrammètres.	198,6	115,1	80,66	59,62
Travail dépensé —	301,5	141,0	86.25	83,25
Rendement.	65,9 %	81,6 %	93,5 %	71,6 %

On voit que les rendements obtenus présentent entre eux d'assez grands écarts qu'il est difficile de rattacher à des différences entre les conditions de chaque expérience. Les mesures dynamométriques ont été faites à l'aide du frein (*). Nous croyons qu'il serait très-préférable, dans les expériences de ce genre, d'employer, au lieu d'un dynamomètre de destruction, un dynamomètre destiné à enregistrer le travail à mesure qu'il se dépense, et basé sur la torsion ou la flexion d'une pièce servant à transmettre l'effort du moteur à l'opérateur commandé par celui-ci. Quant aux causes d'erreur tenant aux variations de température du circuit, M. Hagenbach avait pris soin de les éviter.

C'est un fait mis hors de doute par l'expérience que le rendement *lumineux* des générateurs électriques augmente rapidement, soit avec les dimensions mêmes de l'appareil, soit avec la vitesse qu'on imprime à un appareil donné, par conséquent avec l'intensité du courant. Ce fait s'explique aisément. A mesure que l'intensité s'accroît, la chaleur qui s'accumule dans les charbons s'accroît plus rapidement encore et par conséquent leur température s'élève. Or, on sait qu'une source de chaleur contient une proportion d'autant plus forte de radiation lumineuse que la température en est plus élevée. De cet accroissement du rendement lumineux, il n'y a absolument rien à conclure quant au rendement dynamique dont il est question ici.

(*) M. Hagenbach nous dit lui-même qu'elles ont été très-contrariées dans leur exécution par diverses circonstances.

18. Si des générateurs nous passons aux moteurs électriques, il n'y a pas de nouvelle description à donner, car l'appareil est le même.

Un générateur donné, mis en mouvement dans un certain sens, produit un courant de sens déterminé. Supposons que, au lieu de l'actionner par une force motrice, on fasse passer dans son circuit un courant de même sens que le courant induit de tout à l'heure, et provenant d'*une* source externe : en vertu des forces électro-magnétiques qui prendront naissance entre les pôles des aimants ou électro-aimants fixes et les pôles des noyaux mobiles, d'une part, et les hélices entourant ceux-ci, d'autre part, la partie mobile prendra un mouvement, opposé à celui qui lui était communiqué quand l'appareil fonctionnait comme générateur, et par lequel ces forces pourront servir à accomplir un travail externe ; en d'autres termes, l'appareil fonctionnera comme *moteur* ou *récepteur* (*).

Dans ce qui suivra, nous caractériserons les grandeurs relatives à un moteur en affectant leurs notations de l'indice 1.

Le moteur étant intercalé dans le circuit, si on l'empêche de marcher, le courant aura, dans ces conditions, une certaine intensité i. Si ensuite on laisse le moteur libre de fonctionner, son mouvement déterminera un courant induit d'intensité i', opposé à celui qu'on fait passer dans le circuit, en sorte que celui-ci sera parcouru par un courant effectif dont l'intensité sera seulement $i - i'$ (voir § 7). Pour déterminer la valeur de i', on a précisément la même relation que pour déterminer l'intensité du courant fourni par le générateur, à savoir :

$$i'R = \omega_1 M_1 C_1 \qquad (10)$$

(*) Dans ce cas, le diamètre joignant les contacts doit être déplacé de sa position théorique *en sens inverse du mouvement*. (Voir la note de M. Bréguet citée plus haut.)

avec cette réserve que M_1 est fonction, non de i, mais de $i - i'$. En même temps, la chaleur dégagée dans le circuit, qui était d'abord Ai^2R, n'est plus que $A(i - i')^2R$.

De même que le travail absorbé par le fonctionnement d'un générateur produisant un courant d'intensité i s'exprime, en ne tenant pas compte des pertes, par $W = i\omega MC$, celui que le moteur peut accomplir avec un courant effectif $i - i'$ s'exprimera par $W_1 = (i - i')\omega_1 M_1 C_1$. Mais, en raison de l'intervention des pertes de travail, le travail effectif sera inférieur à cette quantité, et l'on devra, pour l'évaluer, affecter celle-ci d'un coefficient de rendement qu'on ne peut pas *a priori* supposer identique avec le rendement k du même appareil fonctionnant comme générateur, et que nous désignerons par k_1. On aura donc pour expression du travail utile :

$$W'_1 = k_1(i - i')\omega_1 M_1 C_1. \qquad (11)$$

La valeur de W'_1 s'obtiendra en éliminant i' entre les équations (10) et (11); il faudra tenir compte de la relation qui lie M_1 à $i - i'$ et pour laquelle nous avons indiqué, à titre provisoire, la formule (5) ou (7) (en y remplaçant M par M_1, et i par $i - i'$).

On peut supposer que le travail utile W'_1 consiste à surmonter une résistance constante F agissant tangentiellement à une circonférence de rayon l. Alors la relation

$$W'_1 = \omega_1 lF \qquad (12)$$

servira à déterminer le moment statique lF correspondant à ω_1. Si l'on préfère prendre ce moment pour donnée de la question, en lieu et place de la vitesse angulaire ω_1, on adjoindra cette dernière relation à (10) et à (11) pour calculer W_1 et ω_1. Mais, dans ce qui va suivre, nous continuerons à prendre ω_1 pour donnée.

19. Si l'on se donne une source d'électricité, un circuit de résistance connue, et un moteur faisant partie de celui-

ci, et pour lequel on aura pu évaluer M_1C_1, on connaîtra ω_1, R et M_1C_1, et l'on aura à déterminer :

L'intensité i qui s'établit quand le moteur est maintenu à l'arrêt ;

L'intensité i' du contre-courant résultant du fonctionnement de celui-ci ;

Le travail utile W'_1 ;

Enfin l'équivalent mécanique de la consommation occasionnée par la production du courant.

Supposons que la source d'électricité soit une pile, auquel cas R comprend la résistance propre de la pile.

La quantité de zinc qui se dissout dans un élément de pile pendant un temps donné est proportionnelle à l'intensité du courant. On nomme *équivalent électro-chimique* du zinc, et nous désignerons par ζ, la quantité de zinc qui est dissoute dans une seconde pour un courant d'intensité 1, et qui est la même, quel que soit le genre de pile dont il s'agisse. En vertu des réactions chimiques qui se passent dans l'élément, la dissolution d'une unité de poids de zinc correspond à un dégagement de θ unités de chaleur, c'est-à-dire que, si l'excédant du travail positif des affinités chimiques sur leur travail négatif se convertissait directement en chaleur au lieu d'engendrer d'abord un courant électrique, ces θ unités (*) représenteraient la chaleur produite.

(*) Si l'on pouvait employer une pile simple, θ représenterait toute la chaleur résultant de la transformation du zinc métallique en sulfate de zinc. Mais on sait que l'emploi d'une telle pile n'est pas possible, à cause de la diminution rapide d'intensité qui résulte de l'accumulation de l'hydrogène sur la surface du métal non oxydable ou métal positif. Pour empêcher cette accumulation il faut faire intervenir une réaction qui fasse disparaître l'hydrogène, à mesure qu'il se produit. C'est cette réaction qui caractérise les piles à deux liquides. Elle est représentée dans la pile de Daniell, par la réduction du sulfate de cuivre à l'état de cuivre métallique, dans celles de Grove et de Bunsen, par la réduction partielle de l'acide nitrique ; mais dans tous les cas elle constitue un travail chimique *négatif*, et par conséquent entraîne une

Par conséquent, un courant d'intensité 1 possède une énergie qui représente par seconde $\zeta\theta$ unités de chaleur ou $\frac{1}{A}\zeta\theta$ unités de travail. La quantité $\frac{1}{A}\zeta\theta$ mesure ce qu'on nomme la *force électro-motrice* de l'élément voltaïque. En vertu de la *loi de Ohm*, on a :

$$\frac{N\zeta\theta}{A} = iR \qquad (13)$$

N étant le nombre des éléments voltaïques, identiques et rangés en *série*, qui composent la pile. Si à cette équation on associe les équations (10) et (11), savoir :

$$\omega_1 M_1 C_1 = i'R \qquad W'_1 = k_1(i - i')\omega_1 M_1 C_1$$

on pourra déterminer les trois inconnues i, i' et W'_1, pourvu qu'on connaisse l'expression de M_1 en fonction de $i - i'$.

En retranchant (10) de (13), on obtient :

$$\frac{N\theta\zeta}{A} - \omega_1 M_1 C = (i - i')R$$

ou en tenant compte de (11) :

$$\frac{N\zeta\theta}{A} - \frac{W'_1}{k_1(i - i')} = (i - i')R$$

ou encore :

$$\frac{N\zeta\theta}{A}(i - i') = \frac{W'_1}{k_1} + (i - i')^2 R \qquad (14)$$

La quantité de zinc qui se dissolvait par seconde dans un élément, quand le moteur était à l'arrêt, était ζi. Par le fait du fonctionnement du moteur, elle est réduite à $\zeta\,(i - i')$.

---

absorption de chaleur qui vient en déduction de la chaleur résultant de la transformation du zinc en sulfate. Alors θ est seulement l'excédant de cette dernière, et cet excédant varie avec la nature de l'élément voltaïque.

Le travail chimique dépensé, c'est-à-dire *l'équivalent mécanique de la consommation* est donc $\frac{N\zeta\theta}{A}(i - i')$; on voit qu'il a pour correspectif le travail moteur brut $\frac{W'_1}{k_1}$ et l'équivalent dynamique $(i - i')^2R$ de la chaleur dégagée dans tout le circuit.

La valeur du rendement sera :

$$\frac{W'_1}{\frac{N\zeta\theta}{A}(i - i')} = \frac{W'_1}{\frac{W'_1}{k_1} + (i - i')^2R} = k_1\frac{\omega_1 M_1 C_1}{\omega_1 M_1 C_1 + (i - i')R}.$$

On voit qu'elle est le produit de deux rendements partiels, dont l'un k_1 est le rendement propre du moteur, tandis que l'autre $\frac{\omega_1 M_1 C_1}{\omega_1 M_1 C_1 + (i - i')R}$ exprime la perte qu'entraîne la transformation forcée en chaleur d'une partie du travail chimique de la pile.

20. Passons au cas où le courant est fourni par un générateur, soit au cas d'une transmission de force par l'électricité. Le circuit dont R représente la résistance comprend alors : les hélices, soit mobiles, soit fixes du générateur, les hélices, soit mobiles, soit fixes du moteur, enfin le conducteur qui les relie. Ici ω est évidemment une donnée de la question. Au moyen du système d'équations :

$$\omega MC = iR \quad (4) \qquad W' = \frac{(i - i')\omega MC}{k} \quad (9a)$$

$$\omega_1 M_1 C_1 = i'R \quad (10) \qquad W'_1 = k_1(i - i')\omega_1 M_1 C_1 \quad (11)$$

nous pourrons déterminer les quatre inconnues du problème i, i', W' et W'_1, toujours moyennant des relations qui expriment M et M_1 en fonction de $i - i'$. L'équation (9a) signifie que le premier moteur, par lequel le générateur est actionné, est soulagé par le fait du contre-courant i', exac-

tement de même que le poids de zinc consommé dans un élément de pile est réduit de ζi à $\zeta(i-i')$.

La quantité que nous avons désignée, pour pouvoir comprendre le cas de la pile, par *équivalent mécanique de la consommation*, n'est autre ici que le travail dépensé W'.

Les équations (4) et (10) donnent :

$$\omega MC - \omega_1 M_1 C_1 = (i-i')R$$

ou, en tenant compte des deux autres :

$$kW' = \frac{W'_1}{k_1} + (i-i')^2 R \qquad (15)$$

Ainsi le travail $W = kW'$ qui se transforme en électricité dans le générateur (et qui n'est qu'une partie du travail réellement dépensé W') a pour correspectif la somme du travail moteur brut $\frac{W'_1}{k_1}$ et de l'équivalent mécanique $(i-i')^2R$ de la chaleur dégagée dans tout le circuit. Quant au rendement, il sera :

$$\frac{W'_1}{W'} = \frac{kW'_1}{\frac{W'_1}{k_1} + (i-i')^2 R} = kk_1 \frac{\omega_1 M_1 C_1}{\omega_1 M_1 C_1 + (i-i')R}$$

$$= kk_1 \frac{\omega_1 M_1 C_1}{\omega MC}.$$

Il est donc égal au produit de trois rendements partiels : k rendement propre du générateur, k_1, rendement propre du récepteur, enfin un facteur spécial inférieur à 1, identique à celui qui a été mentionné plus haut, et pouvant, dans le cas présent, s'écrire encore : $\frac{\omega_1 M_1 C_1}{\omega MC}$. Nous reviendrons tout à l'heure là-dessus.

21. En comparant les équations (4), § 13, et (13), § 19, on reconnaît que les quantités ωMC et $\frac{1}{A}\zeta\theta$ sont égales toutes deux au produit d'une intensité par une résistance, et sont par conséquent homogènes entre elles. Aussi ωMC se nomme, par analogie avec $\frac{1}{A}\theta\zeta$, *force électro-motrice d'induction*. Ce qui les distingue, c'est que, tandis que la force électro-motrice de la pile est invariable, tant que les réactions chimiques qui s'y passent demeurent les mêmes, celle qui provient de l'induction est arbitraire puisqu'elle dépend de la vitesse de rotation ω imprimée à l'appareil. Toutes deux correspondent à un travail *positif*, de nature ordinaire dans le cas de l'induction, de nature chimique dans le cas de la pile.

Supposons que l'on introduise dans le circuit d'une pile un voltamètre contenant la dissolution d'un sel dont le métal, par le fait de sa transformation en ce même sel, dégagerait θ' calories par unité de poids, et ait ε pour équivalent électro-chimique : l'intensité du courant primitif sera affaiblie non-seulement par le surcroît de résistance qu'apporte le voltamètre, mais encore par l'intervention d'un contre-courant résultant de l'électrolyse du sel. En comprenant dans R la résistance du voltamètre, ou, si le voltamètre est enlevé, une résistance supplémentaire équivalente, l'intensité i' du contre-courant est déterminée par $\frac{1}{A}\varepsilon\theta' = i'R$, de même que celle du courant primitif l'est par $\frac{1}{A}N\zeta\theta = iR$, N étant le nombre des éléments de la pile. La quantité $\frac{1}{A}\varepsilon\theta'$ est une force électro-motrice contraire, qui correspond à un travail chimique *négatif*, c'est-à-dire à un travail de décomposition par lequel les affinités chimiques sont surmontées; par conséquent on peut lui assimiler la

quantité homogène $\omega_1 M_1 C_1$, qui est liée au contre-courant d'induction par la relation $\omega_1 M_1 C_1 = i' R$ et qui correspond également à un travail *négatif*, c'est-à-dire consistant à surmonter une résistance mécanique.

Il existe une analogie complète entre un circuit constitué par une transmission de force et le circuit d'une pile dont le courant est appliqué à une électrolyse. Le récepteur est l'analogue du voltamètre, comme le générateur est celui de la pile. Les deux cas ne diffèrent que par l'origine des forces électro-motrices qui y sont en jeu.

On peut considérer la relation (4) comme étant l'expression de la loi de Ohm pour le cas de la force électro-motrice d'induction.

22. Pour se rendre compte de la loi qui régit le troisième facteur du rendement, il faudrait d'abord connaître celle qui lie M et M_1 avec $i - i'$. Les formules que nous avons proposées, en attendant que des expériences précises aient été faites sur ce sujet, ont trop peu de certitude pour qu'il soit utile de les faire servir à cette discussion.

Ce qu'on peut affirmer d'une manière générale c'est que ce rendement partiel croît avec l'intensité i' du contre-courant, puisque la perte dont son écart d'avec l'unité est l'expression est constituée par la transformation en chaleur du travail $(i - i')^2 R$. Or ce contre-courant augmente lui-même avec la vitesse de rotation ω_1 du moteur. Mais l'augmentation de ω_1, en même temps qu'elle amène celle de i' et par suite la diminution de $i - i'$, amène par cela même la diminution du travail utile W'_1 dont $i - i'$ est un facteur. Il existe donc une vitesse angulaire maximum, celle qui correspondrait à $i - i' = 0$, pour laquelle on aurait tout à la fois un rendement *relatif* maximum, et un rendement *absolu* nul.

Quant à l'influence de la résistance R on ne peut rien en dire de général. Si les magnétismes M et M_1 étaient des

constantes, le produit $(i-i')R$ serait constant pour des vitesses ω et ω_1 données, puisque l'on a :

$$\omega MC - \omega_1 M_1 C_1 = (i-i')R$$

le dénominateur de la fraction serait donc indépendant de R. Cette quantité influerait sur l'intensité $i-i'$ du courant effectif, et partant sur les valeurs absolues des travaux W' et W'_1, qui seraient alors proportionnels à cette intensité, mais nullement sur leur rapport, c'est-à-dire sur le rendement. Si, pour faire une autre hypothèse, on supposait les magnétismes M et M_1 proportionnels à $i-i'$, ce dernier facteur disparaîtrait de l'expression du rendement, et celui-ci se trouverait dépendant de R, et diminuerait quand R augmente. On voit que l'influence de la résistance est entièrement subordonnée à la relation qui lie M et M_1 avec l'intensité effective du courant.

23. Abordons maintenant le cas où la force motrice devrait être à la fois transmise et distribuée, c'est-à-dire où le courant serait destiné à alimenter plusieurs récepteurs. Comme il s'agit simplement d'indiquer comment le problème se pose, nous nous contenterons de supposer deux récepteurs seulement. Soit G (*fig.* 22) l'emplacement d'*un* générateur. De l'un des pôles de celui-ci part un conducteur GA qui se bifurque en A en deux branches AR_1 et AR_2 aboutissant aux moteurs R_1 et R_2. L'autre pôle du générateur communique avec la terre (*), ainsi que les deux moteurs, en sorte que le circuit est complété de R_2 et de R_1 à G par des portions de résistance nulle. Nous désignerons par r, r_1 et r_2 les résistances des portions GA, AR_1 et AR_2, en y comprenant respectivement celles qui sont propres au géné-

(*) Cette question doit être réservée. Il paraît qu'on n'est pas d'accord sur la possibilité de se servir de la terre pour le passage du courant de retour, lorsqu'il s'agit de produire la lumière électrique à une grande distance du générateur.

rateur, au moteur R_1 et au moteur R_2. Les grandeurs concernant celui-ci auront leurs notations affectées de l'indice 2. Il sera plus commode ici d'introduire directement les valeurs de l'intensité effective ; nous les désignerons par j pour GA, par j_1 pour AR_1 et par j_2 pour AR_2. Le problème comporte la détermination de six inconnues : j, j_1, j_2, W', W'_1 et W'_2.

Nous aurons d'abord, en vertu de (9) et de (11) :

$$W' = \frac{1}{k} j\omega MC \quad W'_1 = k_1 j_1 \omega_1 M_1 C_1 \quad W'_2 = k_2 j_2 \omega_2 M_2 C_2$$

Comme la quantité d'électricité qui arrive en A doit être égale à celle qui en part dans le même temps, on a :

$$j = j_1 + j_2.$$

Enfin la *loi de Kirchhoff*, c'est-à-dire la loi de Ohm étendue au cas d'un circuit complexe, donne :

pour le circuit GAR_1G : $\omega MC - \omega_1 M_1 C_1 = jr + j_1 r_1,$
id. GAR_2G : $\omega MC - \omega_2 M_2 C_2 = jr + j_2 r_2.$

On a ainsi six équations qui permettront théoriquement de résoudre le problème, pourvu que l'on connaisse les relations qui lient M, M_1 et M_2 avec l'intensité.

Si l'on voulait connaître les modifications que le fonctionnement des moteurs apporte aux intensités qui existeraient, si ces moteurs n'étaient pas libres de marcher et que la vitesse ω du générateur fût la même, il faudrait comparer les valeurs trouvées pour j, j_1 et j_2 avec les intensités correspondantes i, i_1 et i_2 qui résulteraient du système d'équations suivant :

$$i = i_1 + i_2 \quad \omega MC = ir + i_1 r_1 \quad \omega MC = ir + i_2 r_2.$$

Connaissant les travaux W', W'_1 et W'_2, on connaîtra par cela même le rendement $\frac{W'_1 + W'_2}{W'}$.

La même méthode servira à résoudre le problème dans le cas d'un réseau plus complexe comprenant n moteurs

R_1, R_2, R_3... R_n desservis par des branchements qui se détacheraient de la ligne principale aux points A_1, A_2... A_{n-1} (*fig.* 23). On aura à chercher le travail du générateur, les travaux utiles des *n* moteurs, les intensités dans les *n* branchements A_1R_1, A_1R_2, A_2R_3... $A_{n-1}R_n$, et les intensités dans les $n-1$ segments A_1A_2, A_2A_3... $A_{n-1}G$ de la ligne principale, en tout $3n$ inconnues ; et on disposera d'un nombre égal d'équations, savoir : une, analogue à (9) pour le travail dépensé, *n* analogues à (11) pour les travaux recueillis, $n-1$ équations de continuité pour les $n-1$ bifurcations A_1, A_2... A_{n-1}, enfin *n* équations fournies par la loi de Kirchhoff pour les circuits GA_1R_1G, GA_1R_2G, GA_2R_3G... $GA_{n-1}R_nG$.

S'il existe des raisons pour que les intensités dans les branchements soient égales, ou soient entre elles dans de certains rapports, il y aura lieu de régler en conséquence les résistances des branchements.

24. Arrivés au terme de notre étude, nous devons reconnaître que nos notions sur le sujet auquel elle est consacrée sont encore bien incomplètes, et qu'elles ne suffisent pas pour nous permettre de porter avec quelque certitude un jugement sur les résultats qu'on pourrait attendre d'une transmission de force par l'électricité, établie dans telles ou telles conditions. Le complément que nos connaissances réclament à cet égard ne pourra être obtenu que par des expériences entreprises systématiquement en vue des objets suivants :

1° Déterminer pour plusieurs types de machines d'induction et, dans chaque type, pour les principales variétés, la relation qui existe entre l'intensité du courant et le magnétisme M des aimants inducteurs (ou, ce qui revient au même, le produit indivisible MC de ce magnétisme par la constante de la machine), et chercher à exprimer approximativement cette loi par une formule empirique assez simple pour servir dans les calculs usuels ;

2° Déterminer les rendements k des diverses machines d'induction fonctionnant comme générateurs;

3° Déterminer les rendements k_1 des mêmes machines fonctionnant comme moteurs (*).

Si l'on prétendait en outre, comme cela a été vaguement proposé, appliquer l'électricité à la transmission de forces considérables et à leur distribution entre de nombreux moteurs, il y aurait pour cela bien des questions pratiques à résoudre au préalable. Combien de moteurs convient-il de desservir par un même générateur et une même ligne principale? Jusqu'à quelles limites peut-on pousser les dimensions et la puissance d'un générateur, et par conséquent entre combien de générateurs est-il le plus avantageux de répartir une force disponible donnée? Peut-on en associer plusieurs pour desservir une même ligne? etc., etc.

Une autre question fort importante se rapportera à la disposition à donner au conducteur formant une ligne qui desservirait un ou plusieurs moteurs. Comme on arrivera évidemment à reconnaître que la résistance du circuit est une cause d'affaiblissement du rendement, on aura intérêt à réduire la résistance de ce conducteur, et on pourra être conduit, suivant les cas, à lui assigner une section métallique assez forte. L'objectif à poursuivre sera de faciliter la soustraction de la chaleur qui y prend naissance par le fait du courant, afin qu'elle n'en élève pas la température, ce qui donnerait lieu à un surcroît de résistance. Sous ce rapport, la forme cylindrique est la plus désavantageuse; il y aurait avantage à remplacer un fil unique de gros diamètre par un faisceau de fils plus petits. Il ne faut pas oublier que, si le conducteur est souterrain, ce qui serait le cas ordinaire, il faudra le revêtir d'une

---

(*) Pour d'autres recherches expérimentales relatives aux générateurs et aux moteurs électriques, on pourra consulter utilement des articles de MM. Mascart et Angot dans le *Journal de physique* de M. d'Almeida, année 1878.

enveloppe isolante qui irait précisément à fin contraire. M. Siemens (*) a indiqué une solution qui serait théoriquement satisfaisante : ce serait d'adopter pour conducteurs des tubes de cuivre qui recevraient à l'extérieur une enveloppe isolante, et dans l'intérieur desquels on ferait circuler un courant d'eau, en prenant les précautions nécessaires pour que l'entrée et la sortie de l'eau ne portassent pas préjudice à l'isolation.

Genève, août 1878.

Note relative aux unités électro-magnétiques absolues.

Si au lieu de rapporter les grandeurs électro-magnétiques à des unités empiriques et arbitraires, on les rapporte à des unités qui se rattachent à celles de la mécanique par les relations mêmes servant à ramener les phénomènes de cet ordre aux lois mécaniques générales, on aura réalisé ce qu'on nomme un système d'unités absolues, et on comprend aisément les avantages d'un pareil système, surtout pour les calculs relatifs aux applications. On peut même dire que son introduction a contribué à donner à la science de l'électricité une précision qui lui faisait auparavant défaut. En voici l'exposé sommaire.

Nous désignerons par le symbole (l) une unité arbitraire de longueur, et par (f) une unité arbitraire de force sur laquelle nous reviendrons tout à l'heure. Le symbole (f) (l) désignera alors l'unité de travail. L'unité de temps est toujours la *seconde;* nous la désignerons à l'occasion par (t). Les unités électro-magnétiques se déduisent des précédentes comme suit :

L'unité de magnétisme (m) est la quantité de magnétisme telle que deux pôles qui chacun la contiennent, et sont séparés par la distance (l), s'attirent ou se repoussent avec une force égale à (f).

L'unité d'intensité (i) est l'intensité que doit posséder le courant dans un conducteur de longueur (l) ayant la forme d'un arc de

(*) Voir *Journal for Gas-lighting*, etc., 26 mars 1878.

cercle de rayon (l), pour qu'un pôle de magnétisme (m), occupant le centre du cercle, exerce sur ce conducteur une force égale à (f).

L'unité de quantité (q) est la quantité d'électricité qui passe pendant (t) dans une section d'un conducteur parcouru par un courant d'intensité (i).

L'unité de résistance (r) est la résistance que doit posséder un conducteur, pour que le passage de la quantité d'électricité (q) y engendre une quantité de chaleur égale à l'équivalent thermal de (f) (l).

Il est souvent utile de connaître les *dimensions* des grandeurs électriques, c'est-à-dire les puissances avec lesquelles les unités fondamentales de longueur, de force et de temps figurent virtuellement dans chacune d'elles. Ces dimensions se déduisent des relations qui les relient entre elles et avec les unités fondamentales. Désignons par les majuscules L, F, T, M, I, Q et R des grandeurs dont les minuscules correspondantes, placées entre parenthèses, expriment les unités respectives. Nous avons alors :

le magnétisme.

$$F = \frac{M^2}{L^2}, \text{ d'où } M = LF^{\frac{1}{2}}.$$

Dimensions de l'unité : $(l)^{+1} (f)^{+\frac{1}{2}} (t)^0$.

l'intensité. . . .

$$F = \frac{MIL}{L^2} = \frac{MI}{L}, \text{ d'où } I = \frac{LF}{M} = \frac{LF}{LF^{\frac{1}{2}}} = F^{\frac{1}{2}}.$$

Dimensions de l'unité : $(l)^0 (f)^{+\frac{1}{2}} (t)^0$.

r la quantité. . .

$$Q = IT = F^{\frac{1}{2}} T.$$

Dimensions de l'unité : $(l)^0 (f)^{+\frac{1}{2}} (t)^{+1}$.

r la résistance. .

$$FL = I^2RT = \left(\frac{Q}{T}\right)^2 RT = \frac{Q^2R}{T}, \text{ d'où } R = \frac{FLT}{Q^2} = \frac{FLT}{FT^2} = \frac{L}{T}.$$

Dimensions de l'unité : $(l)^{+1} (f)^0 (t)^{-1}$.

On voit que la résistance est homogène avec une vitesse.

On pourrait adopter pour (f) le kilogramme, c'est-à-dire le poids d'un litre d'eau à son maximum de densité, ou une de ses subdivisions. Mais cette unité aurait l'inconvénient de varier suivant la latitude. De plus, la notion de la force est au fond une notion complexe, et il est plus philosophique de lui substituer comme unité fondamentale celle de la *masse*, qui répondrait avec celles de *longueur* et de *temps* à trois notions simples et irréductibles. On adoptera comme unité de masse, et on désignera par (p) la

masse d'eau, au maximum de densité, contenue dans un cube dont le côté aura une longueur déterminée qui pourra être, mais ne sera pas nécessairement, égale à (*l*). L'unité de force se déduira de celle de masse par la définition suivante :

L'unité de force (*f*) est la force qui, appliquée à (*p*), imprime à cette masse au bout du temps (*t*) une vitesse égale à (*l*).

La dimension de la force se déduit de la relation connue qui existe entre la masse d'un point matériel, la force appliquée à celui-ci, et l'espace qu'elle lui fait parcourir au bout d'un temps donné. Puisqu'on a :

$$L = \frac{1}{2}\frac{FT^2}{P}, \text{ d'où } F = \frac{2PL}{T^2};$$

on voit que cette dimension est :

$$(l)^{+1}(p)^{+1}(t)^{-2}.$$

Substituant ce symbole à (*f*), nous aurons :

Pour dimension du magnétisme. . . . . . . $(l)^{+\frac{3}{2}}(p)^{+\frac{1}{2}}(t)^{-1}$.

— de l'intensité de courant. . $(l)^{+\frac{1}{2}}(p)^{+\frac{1}{2}}(t)^{-1}$.

— de la quantité d'électricité. $(l)^{+\frac{1}{2}}(p)^{+\frac{1}{2}}(t)^{0}$.

La dimension de la résistance ne change pas.

Celle du travail devient :

$$(l)^{+2}(p)^{+1}(t)^{-2}.$$

Telles sont les bases d'un système d'unités électro-magnétiques absolues. Elles ne préjugent rien sur le choix des unités fondamentales (*l*), (*p*) et (*t*), qui demeurent arbitraires. Mais il faut choisir celles-ci pour spécifier le système.

Nous avons dit que (*t*) est toujours la seconde sexagésimale. Quant aux unités (*l*) et (*p*), il convient évidemment de les emprunter au système métrique, à l'exemple des Anglais eux-mêmes. Une commission spéciale de *l'Association britannique pour l'avancement des sciences*, a proposé de prendre (*l*) = 1 centimètre et (*p*) = la masse d'eau contenue dans 1 centimètre cube. Le système qui repose sur ces unités a été adopté par les électriciens anglais et se désigne par les mots *centimètre-gramme-seconde*, ou par la notation abrégée (*c. g. s.*). C'est de celui-là que nous avons fait usage dans l'article précédent.

L'unité absolue de force a pour valeur dans ce système $\frac{1 \text{ kilogramme}}{100\,[g]}$, $[g]$ étant la gravité *en centimètres*, et l'unité du travail $\frac{1 \text{ kilogrammètre}}{100000[g]}$. Ces valeurs sont indépendantes de la latitude.

L'unité de chaleur est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 0° à 1° centigrade la température d'un gramme d'eau. C'est donc le $\frac{1}{1000}$ de la calorie ordinaire.

L'équivalent mécanique de cette unité s'obtiendra d'après ce qui précède en multipliant par $[g]$ et divisant par 1.000 l'équivalent mécanique ordinaire. Si on admet, avec M. H. F. Weber, de Zürich, 428,55 pour valeur la plus probable de l'équivalent ordinaire, l'équivalent mécanique (c. g. s) sera 42041000, et son inverse, ou équivalent thermique de l'unité de travail, sera $A = 0{,}0000000023787$, pour la latitude où $[g] = 981$,

Nous avons remis à dessein jusqu'ici de parler d'une grandeur électrique à laquelle nous avons fait allusion incidemment, à savoir la *force électro-motrice.* On donne ce nom à une grandeur telle que, multipliée par la quantité qui passe dans le circuit d'un courant pendant un certain temps, elle donne un produit égal à l'énergie mécanique du courant pendant ce même temps (ou, si l'on veut, égal à l'équivalent mécanique de la chaleur qui se dégage dans le circuit pendant ce même temps, lorsque le courant n'accomplit aucun travail externe).

L'unité (e) de force électro-motrice sera donc déterminée par la condition que le produit de (e) par (q) soit égal à (f) (l). D'après cela, comme on aura :

$$E = \frac{FL}{Q} = \frac{FL}{IT} = \frac{FL}{F^{\frac{1}{2}}T},$$

la force électro-motrice aura pour dimensions :

$$(l)^{+1}(f)^{+\frac{1}{2}}(t)^{-1}, \quad \text{ou } (l)^{+\frac{3}{2}}(p)^{+\frac{1}{2}}(t)^{-2}.$$

La quantité ωMC, étant le produit d'une quantité de magnétisme par un nombre abstrait et par l'inverse d'un temps, a ces mêmes dimensions : c'est, comme nous l'avons dit, § 21, une force électromotrice d'un genre particulier.

La loi expérimentale à laquelle Ohm a attaché son nom consiste en ce que le produit de l'intensité du courant d'un élément vol-

taïque ou thermo-électrique par la résistance totale demeure constant quand on fait varier la résistance; c'est à ce produit, qui varie seulement suivant la nature de l'élément, qu'on a donné le nom de force électro-motrice. En cherchant à rattacher la loi de Ohm aux principes de l'électricité statique, Kirchhoff a été amené à assimiler la force électro-motrice avec une différence de potentiel entre deux corps électrisés. Clausius a démontré plus tard que, si on admet cette interprétation, la loi de Ohm conduit nécessairement à celle de Joule que l'expérience avait précédemment fait reconnaître.

L'assimilation faite par Kirchhoff est du reste entièrement justifiée. Les deux pôles d'une pile manifestent une différence de potentiel qui est susceptible d'être mesurée par l'électromètre; ces mesures ont donné des résultats qui concordent assez exactement avec ceux que fournit le calcul de la force électro-motrice déduite des réactions chimiques de la pile. La différence de potentiel dont il s'agit étant très-faible, cette vérification exigeait le groupement de nombreux éléments en série, et était subordonnée à l'invention d'électromètres sensibles et exacts.

Si les dimensions de la force électro-motrice ne représentent pas le quotient d'une quantité d'électricité par une longueur, comme l'est un potentiel, cela tient à ce que la définition électro-magnétique de la quantité diffère de la définition électro-statique. Dans le système électro-statique d'unités, dont nous n'avons point à nous occuper ici, cette anomalie apparente n'existe plus.

On vérifiera aisément l'homogénéité des équations de la forme de (3), (9) et (11), en observant que la vitesse angulaire est l'inverse d'un temps, et que le travail qui y figure est rapporté à l'unité de temps et a par conséquent pour dimensions $(l)^{+2}(p)^{+1}(t)^{-3}$.

On emploie souvent, de préférence aux unités absolues elles-mêmes, des multiples ou sous-multiples décimaux, dont l'usage a la même raison d'être que celui du kilomètre ou du myriamètre, au lieu du mètre, pour la mesure des distances géographiques, ou que celui de la tonne, de préférence au gramme, pour les poids des marchandises encombrantes. On leur donne des noms destinés à rappeler des physiciens auxquels la science de l'électricité doit quelques-uns de ses plus grands progrès.

L'unité usuelle de résistance est le *ohm* qui vaut 10^9 unités absolues c.g.s. Le ohm est représenté matériellement par $61^m,70$ de fil de cuivre pur ayant 1^{mm^2} de section ou par $1^m,0471$ de colonne mercurielle de même section. La longueur de 1 mètre de cette colonne, valant par conséquent $0^m,955$ ohm, est très-em-

ployée dans les mesures expérimentales sous le nom d'*unité de Siemens*, parce que le mercure en raison de sa liquidité n'est pas exposé comme le cuivre à des changements moléculaires qui pourraient faire varier sa résistance.

L'unité usuelle de force électro-motrice est le *volt* qui représente 10^8 unités absolues c.g.s. Un élément de Daniell représente environ 1,15 volt, un élément de Bunsen environ 1,90 volt.

On donne, mais plus rarement, le nom de *farad* ou de *weber* à l'intensité de courant produite par 1 volt dans un circuit dont la résistance est de 1 ohm, c'est-à-dire à $\frac{10^8}{10^9} = 10^{-1}$ unité absolue d'intensité.

L'unité usuelle correspondante de travail sera l'équivalent mécanique de la quantité de chaleur qui se dégage par seconde dans un circuit de 1 ohm parcouru par un courant de 1 farad ou weber. Elle comprendra donc $10^{-2} \times 10^9 = 10^7$ unités absolues de travail. Nous ne savons si elle a reçu un nom spécial. Le kilogrammètre valant $[g] \times 10^5$ ou $g \times 10^7$ unités absolues, on voit que, si une quantité de travail se trouve exprimée dans l'unité usuelle ainsi définie, il faudra, pour la réduire en kilogrammètres, la diviser par *la valeur de la gravité en mètres*.

C'est en raison des définitions ci-dessus, que dans le tableau de la page 89 nous avons mis en évidence les facteurs 10^9 pour la résistance, 10^7 pour le travail. Quant aux intensités il suffira de multiplier les nombres du tableau par 10 pour les obtenir en farads ou webers.

Note additionnelle. — Au moment de mettre sous presse, nous recevons communication d'un article de M. du Moncel (Journal *l'Électricité* du 20 janvier 1879), relatif à des expériences faites par MM. Higgs et Brettle sur la transmission du travail à l'aide de machines Siemens. Ce résumé très-sommaire ne fournit pas de données sur les résistances des circuits employés dans ces expériences. Il nous apprend que les maximum de rendement général observés correspondaient au cas où la vitesse de rotation du récepteur était à peu près moitié de celle du générateur. Ces maximum ont été 39, 45 et 49 p. 100.

La même question a aussi été traitée incidemment par M. Mascart dans quelques articles du *Journal de physique*, 1877 et 1878.

ÉTUDES MÉTALLURGIQUES (*)

Par M. L. GRUNER.

1° PRODUITS SECONDAIRES DES HAUTS-FOURNEAUX.

Carbone ferrugineux.

Plusieurs personnes ont constaté, depuis longtemps, l'existence de dépôts charbonneux dans diverses parties des hauts-fourneaux.

Il y a quarante ans environ, je reçus de Niederbronn un échantillon de charbon pulvérulent aggloméré, trouvé dans une fissure de la maçonnerie, lors de la reconstruction de la cuve réfractaire ; comme le haut-fourneau marchait au charbon de bois, j'attribuai sa formation à la décomposition de l'hydrogène carboné provenant de charbons incomplétement cuits. Je n'attachai d'ailleurs à ce produit singulier qu'une médiocre importance et ne le soumis pas à l'analyse chimique.

Plusieurs années après, vers 1850, mon frère, alors directeur de l'usine du Pouzin, me fit remarquer des dépôts charbonneux analogues le long des *marâtres* et des armatures de ses hauts-fourneaux au coke, ainsi que le noircissement singulier de certaines briques du revêtement extérieur. L'explication adoptée pour Niederbronn ne pouvait

(*) Plusieurs de ces études datent de 4 à 5 ans ; d'autres, plus récentes, furent interrompues par une longue maladie. Je les publie réunies dans ce recueil, en prévenant que quelques-unes d'entre elles furent communiquées à l'Académie des Sciences, à la Société d'encouragement, ou à l'association française pour l'avancement des sciences.

plus s'appliquer ici, et à ce moment-là, il faut bien l'avouer, je ne pus me rendre compte de la cause de ce dépôt floconneux noir.

Dès lors, je ne me préoccupai plus de cette question jusque vers 1869, époque à laquelle M. Lowthian-Bell étudia en Angleterre l'action de l'oxyde de carbone sur le minerai de fer à diverses températures. Les résultats curieux auxquels il fut conduit m'engagèrent à approfondir ces réactions, dont l'importance ne pouvait échapper aux métallurgistes. Je consignai mes expériences dans un mémoire, qui reçut en 1871 l'approbation de l'Académie des Sciences (*); un très-court extrait de ce travail fut inséré dans mes études sur les hauts-fourneaux, parus, en 1872, dans ce recueil même (**).

Je repris dès lors l'examen des dépôts charbonneux trouvés à diverses reprises le long des armatures et des revêtements extérieurs des hauts-fourneaux. Aujourd'hui, leur mode de formation s'explique aisément : l'oxyde de carbone, en pénétrant au travers des maçonneries, se trouve décomposé sous la double action du fer métallique et de l'oxygène. Mais il était à présumer que les dépôts charbonneux devaiént se former surtout aux dépens du minerai, dans l'intérieur même de la cuve, du moins sur tous les points où la température n'est pas supérieure à 500 ou 600° C.

Je priai l'un de mes anciens élèves, M. G. Mercier, alors directeur des hauts-fourneaux d'Anzin, de me prêter à cet effet son concours. Il eut la bonté de faire forer horizontalement, à divers niveaux, au travers des briques réfractaires, une série de trous de 0m,02 à 0m,03 de diamètre,

(*) Mémoire sur le dédoublement de l'oxyde de carbone. *Recueil des savants étrangers*, t. XXII, p. 1, et *Annales de physique et de chimie*; t. XXVI, p. 5 (4e série).
(**) *Annales des mines*, 7e série, t. II (1872).

ce que le mode de construction des hauts-fourneaux de cette usine, *non pourvus d'un revêtement extérieur*, permettait d'entreprendre facilement. On perçait les trous de part en part jusqu'à la rencontre de la charge solide du haut-fourneau. On observait avec soin le point où l'on sortait des briques dures et la distance à laquelle on rencontrait le minerai ou le coke. Ces deux distances se confondaient sur quelques points, la charge touchait la paroi, tandis qu'ailleurs une épaisseur plus ou moins forte de charbon tendre floconeux en occupait l'intervalle. On a pu déterminer ainsi l'épaisseur variable du dépôt en question et en recueillir des échantillons que j'ai analysés. Les trous ont été percés à tous les niveaux, depuis les étalages jusqu'au gueulard.

Vers le haut, on n'a rien trouvé, même dans les parties où la température permet le dédoublement de l'oxyde de carbone. Le mouvement des matières et le surplomb des parois tendent à éloigner le dépôt charbonneux, dès sa formation même, et le ramènent constamment au milieu de la charge. Par ce motif il s'accumule difficilement le long de la cuve. Il n'en est plus de même vers l'*encoignure* du ventre, qui forme dans le four une sorte de point *mort* sans mouvement. Plus l'angle de la cuve avec les étalages est petit, et moins les matières qui garnissent cet espace se laisseront entraîner par le mouvement général de la charge. Celle-ci descend verticalement, en laissant intact l'espace annulaire qui correspond à l'angle en question. Cet espace est relativement froid, car les gaz chauds, venant de l'ouvrage, tendant à monter verticalement et pénètrent peu dans l'encoignure du ventre, qui offre ainsi toutes les conditions propres à provoquer la formation du charbon *floconneux*. Et, en effet, les sondages, dont je viens de parler, ont précisément constaté, dans cette région, un abondant dépôt de matière pulvérulente, ferro-charbonneuse, non incandescente.

Les premiers trous ont été forés dans la quatrième assise de briques, précédant le *ventre*, c'est-à-dire vers $0^m,60$ à $0^m,65$ au-dessous de la section maximum du fourneau. On a foré six trous qui ont donné, comme épaisseur du dépôt charbonneux, les nombres suivants :

	mètres.
	0,56
	0,22
	0,49
	0,00
	0,67
	0,25
d'où épaisseur moyenne.	0,365

Dans la 3[e] assise, à $0^m,45$ au-dessous du ventre, 8 trous ont donné les épaisseurs suivantes :

	mètres.	
	0,86	
	1,20	
	0,00	région où le dépôt venait sans doute de se détacher.
	0,00	
	0,00	
	0,10	
	0,35	
	0,04	
Épaisseur moyenne. . .	0,32	

Dans l'assise qui précède le ventre, on a trouvé par 3 trous :

	mètres.
	0,13
	0,0[illegible]
	0,16
Épaisseur moyenne. . .	0,097

La première assise au-dessus du ventre a été percée sur 7 points, où les épaisseurs furent faibles ou nulles :

	mètres.
	0,10
	0,00
	0,00
	0,02
	0,00
	0,05
	0,00
Epaisseur moyenne. . .	0,024

Dans la seconde assise de la cuve, les épaisseurs furent de:

	mètres.
	0,16
	0,00
	0,00
	0,10
	0,00
Épaisseur moyenne. . .	0,052

Contre les assises plus élevées, on n'a plus rencontré aucun dépôt, soit que la température y fut déjà trop élevée par le fait de l'affluence plus grande des gaz chauds, soit que le mouvement des matières et le surplomb des parois aient favorisé, comme je l'ai dit, l'entraînement du charbon floconneux.

Dans tous les cas, il suit de ce qui précède, qu'au ventre et le long des étalages, où les briques sont peu chauffées par les gaz, il existe un cordon plus ou moins continu de matières pulvérulentes ferro-charbonneuses, non incandescentes, dont l'épaisseur est d'ailleurs fort inégale à cause des engorgements et des chutes périodiques si fréquentes dans les hauts-fourneaux. A mesure que l'ouvrage disparaît par corrosion, avec la partie basse des étalages, la largeur du cordon charbonneux devient plus faible; le dépôt noir tend pourtant sans cesse à se former sur le pourtour entier de la cuve, mais il est entraîné par la charge, dont il facilite la réduction finale, à cause de son extrême état de divi-

sion. La formation du carbone ferrugineux est d'ailleurs facile à observer : il suffit de placer quelques fragments de minerai dans l'un des trous, percés au travers de la paroi réfractaire. Au bout de peu d'heures, on verra ces fragments noircir, foisonner, puis tomber en poussière, et finalement se transformer en un abondant dépôt de carbone ferrugineux.

On rencontre ces dépôts jusqu'auprès des tuyères, dans les cavités des masses figées par le voisinage des caisses à eau. M. Mercier en a même vu sortir, à certains moments, avec la fluidité du sable fin, par le joint qui sépare les briques de la tympe en fonte.

Au moment de la *mise hors* du fourneau, on voit très-bien la matière noire couler des étalages, sous forme de pluie incandescente, dès que la poitrine se trouve abattue. J'en ai recueilli moi-même dans ces conditions, en septembre 1873, lors de l'arrêt de l'un des hauts-fourneaux du Prieuré, près de Longwy. J'en donnerai plus loin la composition.

J'ai constaté un dépôt analogue dans la cavité d'un *loup* titanifère, provenant d'un haut-fourneau des environs de Saint-Dizier (Haute-Marne).

Passons aux analyses de ces dépots charbonneux. En opérant, dans le laboratoire, sur de l'oxyde de fer presque pur, deux expériences différentes m'avaient donné (*) :

Carbone	0,2943	0,3340
Fer métallique	0,6468	0,6119
Oxyde magnétique	0,0395	0,0375
Gangue argileuse	0,0065	0,0061
Oxygène uni à une partie du fer métallique dissout par l'acide azotique faible. (Par différence.)	0,0129	0,0105
	1,0000	1,0000

(*) Voir le mémoire déjà cité sur le dédoublement de l'oxyde de carbone.

Deux échantillons, recueillis à Anzin en 1871 et 1872 par M. Mercier, à l'aide de trous percés au niveau du ventre, m'ont donné :

	Dépôt de 1871.	Dépôt de 1872.
Carbone	0,412	0,339
Fer métallique	0,154	0,120
Oxyde magnétique	0,020	0,020
Gangue argilo-quartzeuse	0,320	0,453
Carbonate de chaux	0,076	0,056
Oxygène uni à une partie du fer dissout par l'acide azotique faible	0,018	0,012
	1,000	1,000

Les proportions relatives du carbone et du fer métallique varient d'ailleurs à l'infini, et dépendent, dans les laboratoires, uniquement de la *durée* des expériences : on peut y obtenir facilement, comme dans les hauts-fourneaux, un poids de carbone de beaucoup supérieur à celui du fer; il suffit de continuer l'action de l'oxyde de carbone pendant plusieurs jours.

La poudre noire, receuillie sur les étages du haut-fourneau du Prieuré, se composait d'un mélange de minerai, partiellement réduit et fondu en grenailles, et de carbone floconneux proprement dit.

Au tamis de soie, on a séparé, autant que possible, les grenailles agglomérées; malgré cela il est resté, avec le dépôt charbonneux, du minerai à demi réduit et fritté.

A cause du contact de l'air, une partie du fer métallique s'était d'ailleurs de nouveau réoxydé.

L'analyse m'a donné :

Carbone proprement dit	0,486
Fer métallique	0,105
Minerai partiellement réduit, fer réoxydé et gangue frittée	0,409
	1,000

Il est probable qu'une partie du dépôt, que l'on rencontre sur les étalages, provient des parties hautes, d'où il

se détache et tombe sur les parois saillantes des étalages à l'époque de la mise hors.

Depuis que l'attention des directeurs de hauts-fourneaux a été attirée sur ce point, on a partout constaté des faits analogues; on a même reconnu, dans quelques établissements, un accident plus grave, la destruction graduelle des briques réfractaires sous l'action prolongée de l'oxyde de carbone. M. John Pattinson, chimiste à Newcastle, a communiqué le résultat de ses observations sur ce point à la réunion de l'*Iron and steel Institute* tenue en mars 1876.

Lors de la mise hors de deux grands hauts-fourneaux de MM. Gilkes, Wilson, Pease et C[ie]. à Middlesbrough, on trouva que toutes les briques réfractaires de la partie haute de la cuve se trouvaient altérées au point de se réduire en poudre sous la simple pression des doigts. La masse était noircie de part en part comme par de la suie. Un échantillon, pris à 39 pieds (12 mètres) au-dessus de la sole, contenait 6 p. 100 de carbone, 7,54 de potasse au lieu des 2,60 de la brique primitive, et 6,19 p. 100 de chlorure de potassium, sel que l'on y voyait çà et là sous forme de cristaux cubiques. La brique intacte contenait 3 à 4 p. 100 de peroxyde de fer, tandis que dans la brique altérée on ne signale plus que 1,32 p. 100 de protoxyde de fer, qui très-probablement se trouvait en réalité, lors de la mise hors, à l'état de fer métallique. On voit d'ailleurs, par ce chiffre, que plus de la moitié du fer a disparu des briques, ce qui ne peut guère s'expliquer qu'en admettant qu'il se soit formé du chlorure de fer sous l'action prolongée du chlorure de potassium, transformé en potasse par la silice des briques et l'oxygène de l'oxyde du fer.

Le carbone se trouvait d'ailleurs accumulé, en plus forte proportion, là où existait à l'origine une tache ferrugineuse.

M. Pattinson a retrouvé ces mêmes dépôts charbonneux derrière le mur d'un conduit souterrain amenant les gaz des hauts-fourneaux aux appareils à air chaud. Les rem-

blais ferrugineux, retenus par les briques, étaient remplis de carbone ferrugineux, qui avait rompu le mur par le fait de l'énergique foisonnement qui en résulta.

Les faits en question furent observés dans quelques autres hauts-fourneaux de la même contrée, mais non dans tous; il semble donc résulter des observations faites, que les briques, sujettes à se désagréger par l'action de l'oxyde de carbone, sont bien celles qui offrent le double défaut d'être poreuses et tachetées d'éléments ferrugineux. Il se pourrait aussi que la destruction des briques fût rendue plus rapide dans les fourneaux où les gaz, par suite d'un vicieux mode de chargement, suivent de préférence les parois de la cuve.

Outre le dépôt charbonneux, dont je viens de parler, M. Pattinson a constaté, sur les briques intérieures du haut-fourneau de MM. Gilkes et Cie, un enduit fondu blanc, ressemblant à de la porcelaine, mais déliquescent à l'air. Il avait, sur certains points, jusqu'à 0^{m},20 à 0^{m},22 d'épaisseur. Il se composait surtout d'un silico-aluminate de potasse et de soude; la proportion de potasse dépasse 21 p. 100 et celle de la soude 6 p. 100. Cet enduit résulte évidemment de l'action des vapeurs alcalines sur les briques. Ces vapeurs se forment dans la région de fusion. On sait en effet, depuis longtemps, que le potassium s'y rencontre à l'état de cyanure, et une analyse, que je citerai ci-après, prouve qu'il y existe aussi combiné au soufre.

Le dépôt charbonneux du fourneaux d'Anzin s'accumule surtout dans l'encoignure du ventre ; c'est un espace *inerte* ou plutôt nuisible. Plus les étalages sont plats et moins les charges se meuvent facilement. Des *accrochages* s'y forment, et, avec ces accrochages, des dépôts charbonneux, dont les chutes irrégulières troublent l'allure du fourneau. On évite ce grave inconvénient en reliant directement, par un tronc de cône unique, le ventre au fond du creuset; c'est la forme conseillée, par d'autres motifs, dans mon dernier mémoire sur les hauts-fourneaux.

En adoptant ce profit rationnel, le dédoublement de l'oxyde de carbone rend en réalité de véritables services. Partout où la température est au-dessous de 600° C. et la proportion d'oxyde de carbone suffisamment élevée, le carbone se dépose à l'état floconneux ; il pénètre les fragments de minerai, puis, entraîné par les charges, atteint bientôt la zone incandescente, où la température est assez élevée pour achever la réaction du carbone divisé sur l'oxyde restant. En fait, le carbone fait de la sorte, jusqu'à un certain point, le mouvement de navette. L'oxyde de carbone est dédoublé dans les régions supérieures, puis reformé dans les zones inférieures par la réaction du charbon pulvérulent sur l'oxyde de fer.

Ce qui précède était écrit lorsque je reçus de M. Limbor, ingénieur-directeur de l'usine *Frédéric-Wilhelm*, sise à Mülheim sur la Ruhr, un mémoire qui vient de paraître (1879) dans les nos 37 et 38 des *Annales, für Gewerb und Bauwesen*. L'auteur cite la notice de M. Pattinson, dont je viens de parler, puis mentionne des faits tout à fait analogues, qu'il a observés dans ses hauts-fourneaux de Mülheim. Là aussi les briques réfractaires sont tachetées de nodules ferrugineux, provenant de pyrites contenues dans les argiles, et ces nodules ont donné lieu à des dépôts charbonneux qui ont amené la désagrégation très-prompte des briques. De plus, comme à Middlesbrough, on a trouvé à l'intérieur, après la mise hors, une croûte de sels alcalins déliquescents, et, sous cette croûte, les briques sont plus ou moins imprégnées de potasse et de chlorure de potassium. Pendant la campagne, d'ailleurs fort courte, les briques ont été promptement rongées, et on a dû, à diverses reprises, refaire une partie de la cuve ; puis finalement asperger d'eau toute la surface extérieure de la cuve réfractaire pour la maintenir intacte.

Selon M. Limbor, la destruction résulterait tout autant de l'action des vapeurs alcalines que de celle du dépôt

charbonneux, provenant du dédoublement de l'oxyde de carbone. Cela n'est pas impossible, et en tout cas il est certain que les deux causes ont dû agir simultanément. Mais pourquoi ces faits ne se rencontrent-ils pas partout? Évidemment la nature ferrugineuse et la consistance poreuse des briques doivent exercer sous ce rapport une très-fâcheuse influence. Seulement, et j'insiste particulièrement sur ce point, cette double action des vapeurs alcalines et de l'oxyde de carbone serait moins énergique si le courant gazeux ne suivait de préférence les parois du fourneau, et s'il ne possédait une tension intérieure trop forte. Il faut donc, comme je l'ai conseillé souvent déjà dans mes mémoires précédents sur les hauts-fourneaux, favoriser, *autant* que possible, le passage des gaz et des vapeurs par la *colonne centrale*, et diminuer la contre-pression que les gaz éprouvent dans les conduits de sortie du gueulard; il faut, en un mot, surveiller surtout le mode de chargement.

Gaz ou vapeurs sortant de l'avant-creuset des hauts-fourneaux. Sulfures de potassium et de silicium.

On sait qu'il s'échappe parfois de l'avant-creuset des hauts-fourneaux des vapeurs abondantes de zinc et de plomb. J'ai pu constater ce fait, il y a deux ans, au haut-fourneau de Maisonneuve (Côte-d'Or). Des cadmies, déposées près du gueulard, se détachèrent en fragments volumineux des parois de la cuve et gagnèrent le bas du fourneau. Une partie du zinc parvint jusqu'au creuset et en sortit avec les laitiers, en globules fluides et sous forme de vapeurs abondantes brûlant à l'air.

A d'autres moments on a recueilli, dans la même usine, du carbonate de potasse, qui sortait en filet continu du trou coulée de la fonte. Il provenait sans doute de croûtes, pareilles à celles du haut-fourneau de Middlesborough ci-dessus mentionnées, qui se seront détachées des parois

moyennes du fourneau et, par suite, momentanément accumulées dans l'ouvrage.

Ailleurs, on a constaté la formation du cyanure de potassium, et quelques métallurgistes lui attribuent même une action carburante très-énergique. Ces faits sont connus, je n'y reviens pas. Mais je tiens à mentionner deux autres produits qui sont plus rares, je veux parler du *sulfure de potassium* et du *sulfure de silicium*.

Les laitiers, neutres ou basiques, des hauts-fourneaux au coke sont toujours sulfureux ; ils renferment surtout, comme chacun sait, des sulfures de calcium et de manganèse. Avec ces bases, en proportions suffisantes, on désulfure complétement les minerais, et l'on obtient des fontes pures, même avec des minerais chargés de pyrites et de sulfate de baryte.

Mais le calcium et le manganèse ne sont pas les seuls métaux qui s'emparent du soufre. Le potassium joue parfois le même rôle dans les hauts-fourneaux. J'ai constaté ce fait dans ma visite de l'usine du Prieuré à Longwy, ci-dessus mentionnée à l'occasion du dépôt charbonneux, trouvé sur les étalages d'un fourneau que l'on venait de mettre hors.

Outre ce dernier fourneau, l'usine en renfermait plusieurs autres et en particulier un haut-fourneau, fort élevé et large, bâti sur le modèle des grands fourneaux anglais du Cleveland. Le vent était chauffé vers 500 à 600°, à l'aide d'un appareil Whitwell. On marchait à allure très-chaude, afin de produire, avec les minerais oolithiques de la contrée, de la fonte noire n° 6, pour la seconde fusion.

En visitant l'usine, je fus immédiatement frappé par un abondant dépôt blanc, couvrant les murs, les colonnes, la toiture de la halle de coulée et même toutes les parties externes du fourneau. En même temps on voyait sortir de l'avant-creuset une flamme vive dont la teinte variait du blanc au lilas et au jaune pâle, sans aucune nuance verte.

Cette flamme se transformait d'ailleurs immédiatement en nuages opaques blancs, beaucoup plus abondants et plus épais que ceux que j'avais observés ailleurs jusque-là.

Je recueillis facilement 10 à 15 grammes du dépôt provenant des vapeurs en question, ce qui me permit d'en faire une double analyse au laboratoire de l'École des mines. Je constatai, de suite, l'absence totale de l'oxyde de zinc, et la solubilité partielle de la matière dans l'eau. Elle contient même un peu d'eau, mais n'est d'ailleurs pas déliquescente. La partie soluble se compose surtout de sulfate de potasse avec de faibles doses de carbonate et de chlorure du même métal, sans traces de sulfure proprement dit.

La partie insoluble d'une nuance brune claire, fut facilement attaquée à froid par l'acide chlorhydrique, et dégagea de l'hydrogène sulfuré, comme les laitiers sulfurés ordinaires, mais je n'y dosai pas le soufre. Dans la partie soluble je ne trouvai, avec la potasse, que de faibles traces de soude.

L'analyse m'a donné (*) :

Partie soluble dans l'eau.	Sulfate de potasse.	0,3782	0,4336
	Carbonate de potasse. . . .	0,0390	
	Chlhorure de potassium. .	0,0152	
	Silice.	0,0012	
Partie insoluble dans l'eau.	Silice.	0,2298	0,5300
	Alumine.	0,0962	
	Chaux.	0,1588	
	Protoxyde de fer.	0,0400	
	Protoxyde de manganèse. .	0,0016	
	Magnésie.	0,0036	
	Soufre.	non dosé	
Eau (combinée et hygrométrique).			0,0320
			0,9956

La partie insoluble ne pouvant provenir que des laitiers

(*) Cette analyse a été communiquée à l'Académie des Sciences le 6 mars 1876.

entraînés par le vent des tuyères, il y avait quelque intérêt à comparer sa composition à celle des laitiers proprement dits ; or, l'analyse des laitiers m'a donné :

Silice	0,330
Alumine	0,146
Chaux	0,437
Magnésie	0,019
Protoxyde de fer avec un peu de manganèse	0,036
Potasse	0,017
Soufre	0,007
Acide sulfurique	0,002
	0,994

Il convient de noter que le laitier abandonne à l'eau 1 p. 100 de son poids, et que, dans cette partie soluble, on trouve du sulfate de potasse, de la silice et des sels calcaires, formés par le soufre à divers degrés d'oxydation.

Si l'on ramène, d'autre part, à l'unité la composition de la partie insoluble de la poudre en question, on trouve :

Silice	0,433
Alumine	0,181
Chaux	0,300
Magnésie	0,007
Protoxyde de fer	0,076
Protoxyde de manganèse	0,003
	1,000

A première vue, il semble y avoir entre les deux composés une très-grande différence. Le laitier proprement dit est fortement basique et s'attaque rapidement, par l'acide chlorhydrique à froid, avec fort dégagement de chaleur; d'autre part, malgré l'excès de silice, la partie insoluble de la poudre recueillie est de même attaquée par l'acide avec dégagement de chaleur. La silice en excès ne peut donc être que *mêlée* à un silicate basique peu différent de celui des laitiers ; et pourtant il y a entre les deux silicates cette différence, que celui de la poudre renferme à peu près le

double de fer. Le fort vent des tuyères entraîne sans doute à la fois les deux composés fondus que traverse la nappe de vent, c'est-à-dire, un peu de fer, et surtout du laitier qui, par son grand volume, sa consistance visqueuse et sa faible densité, donne particulièrement prise au vent. Mais d'où vient la silice pulvérulente en excès qui semble simplement mêlée au silicate basique?

Je rappellerai d'abord, qu'au moment de la coulée d'un haut-fourneau il s'échappe souvent de la fonte en fusion une abondante fumée blanche, qui affecte l'odorat comme l'acide sulfureux. C'est, en effet, de l'acide sulfureux, mais non cet acide isolé, car seul il ne formerait pas des vapeurs *opaques*. Le *sulfure* qui brûle à l'air, *forme* en s'oxydant, outre l'acide sulfureux gazeux, un autre composé qui est *solide* et *blanc*. D'autre part, on sait que les hauts-fourneaux au coke fournissent parfois des objets en première fusion, dont les cavités sont remplies d'une *matière fibreuse blanche* et que cette substance se dépose surtout, entre la fonte et le moule en sable vert, dans le vide qui s'y produit par le retrait naturel de la fonte. Ce fâcheux produit était autrefois assez fréquent à l'usine de l'Horme. Étant alors encore à Saint-Étienne, on me pria de l'examiner et d'indiquer les moyens propres à empêcher sa formation. J'assistai à quelques coulées et fus frappé de l'abondant dégagement sulfureux; de plus, un rapide examen du dépôt fibreux blanc me prouva que c'était de la silice pure, facilement soluble dans l'eau chargée de potasse caustique. Il s'échappe donc de la fonte en fusion simultanément du soufre et du silicium, c'est-à-dire du *sulfure silicique*, qui est en effet légèrement volatil et surtout facilement entraîné par d'autres gaz. Ce sulfure brûle à l'air, lorsque la fonte n'est pas couverte, et s'oxyde aux dépens de l'eau lorsque la fonte est coulée dans du sable humide. D'après cela, le remède était facile à trouver; il a suffi, pour faire disparaître les vapeurs et le dépôt

siliceux, d'augmenter dans le lit de fusion, la proportion du fondant calcaire. La chaux retient, on le sait, la silice et le soufre.

En résumé, on le voit, il s'échappe souvent de dessous la tympe des hauts-fourneaux, ou avec la fonte, au moment de la coulée, du *sulfure de potassium*, ou *de silicium* qui tous deux brûlent à l'air : du *sulfure de potassium*, lorsque le lit de fusion est basique et contient de la potasse ; du *sulfure de silicium*, lorsque le mélange manque de chaux (*). Ce dernier produit dénote une allure *vicieuse* qu'il est facile de corriger, tandis que le sulfure de potassium garantit la désulfuration de la fonte, et ne peut qu'améliorer la marche des hauts-fourneaux. Remarquons, en terminant, que la proportion de la potasse doit être assez considérable dans les minerais et la castine de Longwy, puisque le laitier contient jusqu'à 0,017 de base alcaline. Cette abondance de la potasse est un point de rapprochement de plus entre les dépôts oolithiques contemporains du Cleveland et ceux du nord-est de la France. Nous verrons bientôt que les uns et les autres ont encore un autre point commun, la présence simultanée du phosphore et du vanadium.

Fonte écailleuse.

Les fontes renferment des éléments nombreux, dont les uns sont réellement combinés, les autres simplement dissous,

---

(*) M. le professeur Ledebur de Freyberg vient de publier un intéressant travail sur une question analogue (dans la *Berg und Hüttenmännische Zeitung*), où il attribue les soufflures de certains objets moulés au sulfure silicique en dissolution dans la fonte. Il faut cependant remarquer, à ce sujet, que les soufflures proviennent aussi, dans beaucoup de cas, uniquement de ce que la fonte a été coulée *trop* chaude, et retient alors de l'*oxyde de carbone* en dissolution qui se dégage en grande partie par simple refroidissement, ainsi que l'ont constaté MM. Troost et Hautefeuille. (*Comptes rendus*, t. LXXVI, n° 8 de 1873.)

ou même seulement mécaniquement mêlés, comme le graphite. Lorsqu'une pareille fonte est conservée fondue pendant quelque temps, elle se sépare assez souvent en deux ou plusieurs couches distinctes, et cela par le fait d'*une sorte* de *liquation*, due à la simple différence de densité de ses composés. La même séparation s'opère aussi dans le creuset même du haut-fourneau, surtout lorsque l'allure en est irrégulière et que la réduction des divers composés ne se fait pas constamment dans des conditions identiques. Un exemple, en quelque sorte journalier, de ce genre de liquation peut s'observer dans toutes les fonderies. Dans les poches en fer, à l'aide desquelles on verse la fonte dans les moules, celle-ci est souvent couverte d'une *croûte* ou pellicule terne dont le fendillement plus ou moins rapide, le *jeu*, permet de juger jusqu'à un certain point de l'allure du fourneau. La vivacité du jeu croît avec la température de la fonte; aussi les Allemands donnent-ils à cette croûte le nom de *gaarschaum* (écume due à l'allure chaude). Mais il est des cas où cette croûte prend une épaisseur inusitée et se transforme en une masse *écailleuse* qui se soulève et se sépare en nombreux feuillets. Un accident pareil s'est produit, à diverses reprises, au haut-fourneau de Brousseval (Haute-Marne), que dirigeait alors M. G. Mercier, après son départ d'Anzin. Le 12 avril 1873, la couverture écailleuse des gueusets, que l'on pouvait détacher facilement de la fonte proprement dite, formait 3 p. 100 du poids de cette dernière, et, le 14 avril, jusqu'à 20 p. 100. A la première date, la fonte était encore grise; à la deuxième, à peu près blanche, quoique l'allure fût également chaude, mais la fonte était alors sulfureuse, ce qui explique sa tendance à blanchir. Les écailles, dont le gueuset était couvert, se composent de larges feuillets flexibles d'un gris métallique à éclat vif, qui se soulèvent et se séparent en forme d'éventail, et ressemblent de loin à certaines roches graphitomicacées des Alpes. Elles sont plus légères que la fonte,

et sont en effet chargées d'une plus grande dose d'éléments étrangers. En y déterminant directement le fer par le permanganate de potasse, on en a trouvé, dans la fonte du 12 avril, 95,28 p. 100, et, dans les écailles correspondantes, seulement 92,22 p. 100. Les écailles du 14 avril sont encore plus impures : elles n'ont donné que 89,02 p. 100 de fer métallique. Je n'eus pas alors le loisir d'en faire l'analyse complète, et depuis lors d'autres circonstances m'en ont empêché. Les résultats obtenus méritent cependant, je crois, d'être signalés, car ils suffisent pour mettre sur la voie de la cause qui a donné lieu à ce produit anormal. Il convient de dire, au reste, que la fonte écailleuse s'est formée lors de l'emploi d'un coke friable, riche en cendres, et lorsqu'en outre le minerai *lavé* fut partiellement remplacé par du minerai *brut* plus terreux. Il y avait, en un mot, dans le lit de fusion plus d'argile et aussi, très-probablement, plus de soufre, à cause de l'impureté du coke. La friabilité du coke et la nature plus terreuse du minerai devaient d'ailleurs rendre difficile l'ascension régulière et normale du courant gazeux. Cette dernière circonstance pouvait déjà amener, à divers moments, la production de fontes de qualités variables, mais semble pourtant insuffisante pour expliquer, à elle seule, la formation continue des écailles en question.

Quoi qu'il en soit, voici les résultats des essais chimiques auxquels je soumis ce singulier produit. Les écailles, quoique assez vivement attaquées au premier instant par l'acide chlorhydrique froid, le sont cependant d'une façon bien moins énergique que la fonte, et même, au bout de 48 heures, la dissolution n'est pas complète si l'on ne chauffe pas. Il y a, dès l'origine, dégagement très-prononcé d'hydrogène silicié. L'eau régale et l'acide azotique attaquent vivement et laissent un résidu siliceux et graphitique.

L'hydrogène sulfuré ne produit dans les dissolutions

qu'un précipité de soufre, en sorte que les écailles et la fonte ne renferment ni arsenic, ni cuivre, ni plomb.

La fonte blanche du 12 avril m'a donné :

Fer (déterminé directement)	0,9528
Silicium	0,0102
Phosphore	0,0115
Soufre	0,0062
Graphite	0,0048
Carbone combiné et autres éléments (par différence)	0,0145
	1,0000

Pour le dosage de la silice et du carbone dans les écailles, je me suis servi des méthodes de M. Boussingault, c'est-à-dire, de l'acide chlorhydrique gazeux après grillage complet pour la silice, et du bichlorure de mercure pour le carbone. Les écailles du 14 avril m'ont donné :

Fer (déterminé directement)	0,8902
Silicium	0,0285
Phosphore	0,0056
Soufre	0,0117
Graphite	0,0222
Carbone combiné	0,0120
Calcium	0,0027
Aluminium	0,0006
Magnésium	»
Manganèse	0,0070
	0,9805

On voit, par le total, que l'analyse n'est pas complète, et que les écailles doivent encore renfermer d'autres éléments que je n'ai pu doser. Mais en tout cas, ce qui frappe lorsque l'on compare l'analyse de la fonte à celle des écailles, c'est que ces dernières renferment, outre le graphite, une proportion double de soufre et plus que double de silicium, tandis que le phosphore, qui a plus d'affinité pour le fer, est surtout retenu par la fonte.

Outre cela, ce qui semble caractériser les écailles, c'est

le manganèse. Il doit, à la vérité, s'en trouver aussi parmi les éléments non dosés de la fonte, mais la proportion en est faible, tandis que les écailles en renferment plus d'un demi p. 100, ce qu'il faut attribuer à l'excès de silicium, car on sait que le manganèse a plus d'affinité pour le silicium que le fer (*).

Ces diverses conclusions sont confirmées par l'analyse inachevée des écailles du 12 avril. J'y ai trouvé, en effet :

Fer	0,9222
Silicium	0,0178
Carbone combiné	0,0105
Graphite et autres éléments, parmi lesquels une assez forte dose de manganèse (par différence)	0,0495
	1,0000

On voit, en résumé, que les écailles sont caractérisées par la prédominance du silicium et du soufre, joints à une certaine dose de manganèse et de métaux terreux. Le puddlage a d'ailleurs confirmé ce résultat. La fonte blanche, mêlée d'écailles, a fourni un travail irrégulier et un produit peu homogène, la fonte s'affinant plus vite que les écailles. Le fer cassait à chaud, et la scorie était visqueuse, ce qui semble bien dénoter un excès de silice.

Quant au remède à employer, il était indiqué tout naturellement : il fallait, comme pour les fontes sulfo-siliciques, forcer la dose en castine, afin de retenir dans les laitiers la silice et le soufre. En faisant cela, et en se servant de coke et de minerai moins terreux, on a pu rétablir la bonne allure du haut-fourneau et ramener la formation d'une bonne fonte de moulage et de forge.

(*) Je rappellerai ici que dans le mémoire sur l'acier, publié en 1867, j'ai cité deux fontes dans lesquelles le silicium se trouvait spécialement uni au manganèse, et que ce silicium n'avait pas été attaqué, comme le reste de la fonte, par l'acide chlorhydrique uni à un peu de chlorate de potasse.

Je rappellerai à cette occasion que M. Tunner remarqua en Carinthie, il y a quelques années (*), qu'en maintenant en fusion de la fonte grise, provenant de fers spathiques un peu quartzeux, on voyait se produire à la surface du bain métallique une sorte de mouvement vermiculaire qui provenait du *siliciure de manganèse*, se rendant à la surface par suite de sa légèreté relative. Là il se transformait, au contact de l'air, en silicate de manganèse, qu'on a pu enlever et analyser après refroidissement complet de la masse. On eut donc ici la preuve évidente d'une sorte de liquation, due à la différence de densité du siliciure de manganèse comparée à celle du fer carburé.

Au reste, la fonte *écailleuse*, observée à Brousseval, a été aussi constatée ailleurs. Dans son plus récent mémoire sur la déphosphoration de la fonte, M. Lowthian Bell (**) rappelle que, vers les premières années de marche des hauts-fourneaux du Cleveland (1858), les fondeurs se refusaient à employer les fontes de ce district, à cause d'une sorte d'écume ou scorie (*scum or slag*) qui montait à la surface de la fonte lorsqu'on la perçait du cubilot dans le chaudron de coulée. M. Lowthian Bell ne dit pas de quelle nature était cette *écume;* mais, comme il ajoute qu'on la faisait disparaître en ajoutant à la charge du cubilot un peu d'hématite rouge, ce qui réduisait alors, dans la fonte, la dose du carbone de 30 p. 100 et celle du silicium de 60 p. 100, on voit que le défaut provenait surtout d'un excès de silicium. Aussi, en rendant plus basique le lit de fusion des hauts-fourneaux, a-t-on dès lors empêché le retour du défaut en question.

Un autre exemple de ces mêmes écailles m'a été fourni en 1876 par mon fils, alors ingénieur aux forges de Sainte-Colombe, près de Châtillon-sur-Seine. On traitait à cette

---

(*) *Jahrbuch de Leoben*, t. IX.
(**) *Journal of iron and steel Institute*, n° 1 de 1878, p. 18.

époque dans ces forges des fontes de Frouard, près de Metz. Elles étaient blanches, mais généralement fibreuses ou lamelleuses, ce qui dénote une allure assez chaude. Eh bien, ces fontes se trouvaient parfois couvertes ou entrelardées d'écailles tout à fait pareilles à celles de Brousseval. Je les fis analyser au bureau d'essai de l'École des mines. On y trouva :

Fer (déterminé direct).	0,9389	
Silicium.	0,0035	
Phosphore.	0,0039	
Soufre.	0,0006	
Graphite et carbone. .	0,0400	(approximativement)
	0,9969	

On n'y trouva ni manganèse, ni aluminium, ni calcium, ni magnésium.

On voit, en comparant cette analyse aux précédentes, que les écailles de Frouard renferment moins d'éléments étrangers que celles de Brousseval, et qu'en réalité elles sont même plus pures que beaucoup de fontes grises. Il faut donc bien que leur production provienne, dans certains cas, d'une simple marche irrégulière du fourneau, d'une réduction momentanée plus intense de la silice. Au reste, même alors, le remède le plus efficace me paraît toujours l'emploi d'une dose plus forte de castine. Ajoutons qu'à Frouard on se servait à cette époque de cokes friables et cendreux de Saarbrück, et que les minerais y sont très-alumineux. En tout cas, à Frouard, comme à Brousseval, dans la Carinthie et le Cleveland, l'isolement de la masse écailleuse se fait par une sorte de liquation. Elle se sépare de la fonte blanche par suite de l'excès de silicium, qui semble provoquer d'une façon énergique l'expulsion du carbone à l'état de graphite.

Fontes siliceuses.

Si je m'arrête un instant aux fontes siliceuses, c'est moins pour citer des travaux personnels que pour résumer des faits déjà connus, mais qui se rattachent en quelque manière aux observations précédentes.

On sait depuis longtemps que l'allure chaude, la nature siliceuse des minerais et le défaut de calcaire favorisent la formation de fontes siliceuses. M. L. Jordan a présenté, le 28 avril 1873, à l'Académie des sciences, une note sur ce sujet. Il a cité une fonte de Towlaw, tenant 5,73 p. 100 de silicium, et une autre fonte, produite par accident à l'usine de Heerdt, qui en renfermait jusqu'à 7,90 p. 100. Cette dernière fonte correspondait à un laitier dans lequel la proportion de silice s'élevait à 50 p. 100 et dont la formule était celle d'un sesquisilicate de chaux et d'alumine. De mon côté, j'ai eu à analyser, il y a trente à trente-cinq ans, une fonte analogue obtenue à l'Horme par le mélange au lit de fusion d'une trop forte dose de scories de réchauffage très-siliceuses. J'y ai trouvé 6 p. 100 de silicium, ce qui était alors, dans les forges, une proportion tout à fait inusitée. Cette fonte avait un aspect spécial : elle était grise, mais se cassait suivant des faces planes à reflets brillants, apparence que les Anglais désignent sous le nom assez caractéristique de *glazed pig*. Ce sont des fontes qui n'ont d'ailleurs, comme le remarque fort bien M. Jordan, rien de commun avec les fontes blanches *miroitantes* ou *spéculaires*.

Les fontes extra-siliceuses sont aussi le plus souvent un peu sulfureuses, car le défaut de chaux, qui favorise la réduction de la silice, empêche, par le même motif, la formation du sulfure de calcium. Si l'on veut éviter la présence du soufre, sans diminuer la proportion de silicium, il faut ajouter au lit de fusion de l'oxyde de manganèse, dont une partie servira à former du sulfure de manganèse. Il

faut cependant, même dans ce cas, que la proportion de silice ne soit pas trop forte, sinon l'oxyde de manganèse est retenu sous forme de silicate ou partiellement réduit à l'état de siliciure.

C'est là ce qu'on cherche à réaliser dans les usines qui doivent produire des fontes pour l'affinage Bessemer. Par une allure chaude, plutôt basique que siliceuse, on obtient des fontes non sulfureuses, contenant 1,5 à 3 p. 100 de silicium et autant de manganèse. Pour exclure le soufre, il faut d'autant plus de chaux que le manganèse est en proportion moindre.

Dans cette voie des fontes siliceuses, l'usine de Terre-Noire, sous l'habile direction de son ingénieur M. Pourcet, est allée plus loin que nulle autre, et cela dans le but de se procurer un métal qui pût servir de réductif lors de la fabrication de l'acier coulé sans soufflures.

Son exposition au Champ-de-Mars comprenait divers échantillons, dans lesquels on accusait les teneurs suivantes:

Silicium.	10,20	7,45	5,55	5,45
Manganèse. . . .	20,50	19,50	6,50	13,00
Carbone.	2,65	2,65	2,10	2,30

Outre cela, des proportions de 0,14 à 0,185 p. 100 de phosphore, sans traces de soufre; comme toujours, la proportion de carbone croît avec le manganèse. Le mode de fabrication n'est pas indiqué; toutefois, il est évident qu'il a fallu, pour y arriver, une allure très-chaude, comme pour le ferro-manganèse, et une faible proportion de bases terreuses. Il faut, quant au laitier, s'approcher plutôt du sesquisilicate que du protosilicate, et fournir, d'ailleurs, au lit de fusion, une forte proportion de manganèse. Dans ces conditions, la silice et l'oxyde de manganèse sont partiellement réduits, et le soufre est retenu dans les laitiers à l'état de sulfure de manganèse.

Il y aurait à examiner cependant si le soufre n'est pas

aussi, dans ces conditions de très-haute température, volatilisé en partie, comme à Longwy, à l'état de sulfure de potassium; il faudrait, à cet effet, analyser le dépôt de la flamme de tympe ou celui qui se forme au moment de la coulée. Je rappellerai aussi que le potassium, qui se produit auprès des tuyères, peut également favoriser la réduction de la silice, ainsi que l'a fait observer M. Troost.

Les fontes extra-siliceuses sont d'une nuance plus claire et d'un grain plus serré que les fontes grises ordinaires; elles sont aussi plus douces au toucher et plus cassantes, sans avoir la dureté des fontes blanches grenues ordinaires. Elles sont d'autant moins fusibles qu'elles renferment plus de silicium; mais une fois fondues, elles sont très-fluides et coulent tranquillement, comme l'argent, sans étincelles ni projections, parce que l'oxygène et l'oxyde de carbone sont absorbés ou décomposés par le silicium. Les fontes silico-manganésées de Terre-Noire sont encore attirables à l'aimant.

En combinant directement le silicium au fer, MM. Troost et Hautefeuille ont pu préparer un siliciure à 20 p. 100 de silicium, qui fondait tranquillement à une température élevée dans un creuset de silice (*gaize*) (*).

Enfin, tout récemment, M. Lawrence Smith a soumis à l'Académie des sciences un fragment de gueuse trouvé dans les champs, en un point des États-Unis, où depuis longtemps il n'existe plus de hauts-fourneaux (**). L'alliage est grenu, cristallin, d'un gris clair comme le platine. Le métal prend un beau poli, mais présente quelques soufflures. Il diffère des siliciures de Terre-Noire par l'absence du manganèse et par la faible dose de carbone, qui, dans ces composés, comme je l'ai déjà dit, semble croître et décroître avec le manganèse.

(*) *Comptes rendus de* 1873, t. LXXVI.
(**) *Comptes rendus de* 1878, t. LXXXVII, p. 929.

Le métal renferme :

Fer.	84,021
Manganèse.	traces
Silicium.	15.102
Graphite.	0.601
	99,724

L'absence du manganèse rend cet alliage extrêmement inaltérable ; non-seulement il s'est conservé dans les champs sans se rouiller, mais il n'est attaqué ni par l'iode ni par le brôme ; les parties polies n'ont été même que faiblement ternies par l'immersion prolongée dans l'acide chlorhydrique liquide. Parmi les autres acides, l'acide fluorhydrique seul le dissout, en laissant le graphite et dégageant de l'hydrogène non carburé. Ce siliciure aussi fond tranquillement à une température très-élevée, sans étincelles ni dégagement de gaz.

La forme du fragment prouve son origine ; et l'absence, ou la rareté du soufre, prouve que cet alliage a dû être obtenu avec un combustible non sulfureux (charbon de bois) et un minerai très-siliceux également dépourvu de soufre. Un pareil alliage, facile à mouler, pourrait rendre des services, à cause de son inaltérabilité, si l'on parvenait à le fabriquer en grand. On doit cependant craindre son aigreur, à moins que par le recuit, ou par l'addition de quelque autre élément, on ne réussisse à combattre sa fragilité.

En ce qui concerne l'*emploi* des fontes *silico-manganésées*, il convient de signaler la différence qui existe, à ce point de vue, entre ces fontes et les ferro-manganèses.

Les deux composés permettent de réduire l'*oxyde de fer*, mêlé au fer métallique, à la fin de l'affinage Bessemer.

Dans le cas des ferro-manganèses et des fontes spéculaires, ce sont le *manganèse* et le *carbone* qui servent de réducteurs.

Dans le cas des siliciures, ce sont le *manganèse* et le *silicium*.

La différence saute aux yeux. Dans le premier cas, pour que la réduction soit complète, il faut que le produit retienne encore à la fin un peu de carbone; et l'on sait que c'est pour éviter cet *excès* de carbone que l'on a recours aux ferro-manganèses toutes les fois que l'on veut obtenir un produit *doux*, pouvant servir de tôle de chaudière par exemple. Or, dans cette voie on peut rencontrer un écueil. Lorsqu'on ajoute du ferro-manganèse trop riche en manganèse, sans proportion suffisante de carbone, il pourrait arriver que l'oxyde de manganèse se substituât tout simplement à l'oxyde de fer; mais cet oxyde de manganèse n'est pas plus fusible que l'oxyde de fer, lorsqu'il est *isolé*. Il se produirait, par suite, un métal *rouverin* aussi bien par le fait du mélange de l'oxyde de manganèse que par celui de l'oxyde de fer. Eh bien, si l'on craint de se servir du *carbone* comme réductif, on peut avoir recours au *silicium* qui, après avoir partiellement réduit les oxydes, fond les oxydes restants par la silice formée, et alors le manganèse a le grand avantage de former un silicate qui ne se *suroxyde* pas comme le fer et ne produit pas un silicate *pâteux* comme le peroxyde ou l'oxyde magnétique de fer. La séparation de l'oxyde de manganèse par la silice se fait ainsi plus sûrement que celle du fer. Là est tout l'avantage des siliciures de manganèse sur les simples fontes *siliciées*. Seulement, là aussi il faut bien surveiller le dosage, afin de ne pas laisser dans le métal un excès de siliciure qui exigerait un nouvel affinage.

2° ALLIAGES DE LA SÉRIE FER — ACIER — FONTE AVEC DIVERS MÉTAUX ÉTRANGERS.

Berthier et Faraday ont préparé, il y a longtemps, divers alliages de fer et d'acier en opérant dans de petits creusets, chauffés au feu de forge d'un laboratoire. D'autre part, la grande industrie ne s'est préoccupée de ces composés que depuis quinze à vingt ans.

Les premiers alliages, préparés en grand, sont ceux que produit le *tungstène*. J'ai communiqué en 1873, à la Société d'encouragement, les essais entrepris dans cette voie jusqu'à cette époque, et déjà, en 1862, j'avais fait connaître, dans un mémoire sur le procédé Bessemer, les propriétés spéciales de l'acier au tungstène (*). On sait que ce métal augmente la ténacité et la dureté de l'acier : la dureté croît en quelque sorte indéfiniment ; la ténacité, seulement jusqu'à la teneur de 2 à 3 p. 100 ; au delà, l'alliage devient aigre par suite de son extrême dureté. Cependant, pour des outils de tour, on peut aller jusqu'à 8 p. 100, mais à la condition de ne le soumettre qu'à une faible trempe à l'huile, car la trempe à l'eau fait éclater l'outil. Un crochet de tour, employé aux chemins de fer de l'Ouest dans l'atelier des bandages en acier, m'a donné au laboratoire :

Tungstène	0,0798
Carbone	0,0140
Silicium	0,0022
Titane	traces douteuses

J'y ai recherché le titane, parce que cet acier était fourni par une société métallurgique anglaise s'intitulant *Titanic Company*. En fait, j'ai vainement essayé, au laboratoire, à

(*) *État présent de la métallurgie du fer en Angleterre*, p. 838.

unir le titane à l'acier, et, dans une fonte blanche, préparée par M. Ponsard avec du fer titané, je n'ai trouvé que 0,002 de titane, et encore peut-on se demander si cet élément ne s'y trouve pas simplement incorporé à l'état oxydé. On sait, d'ailleurs, que le fer titané rend froide l'allure des hauts-fourneaux, et que l'acide titanique se retrouve en grande partie dans les laitiers. Dans la scorie, provenant des essais au réverbère de M. Ponsard, j'ai trouvé 10 p. 100 d'acide titanique, 37 de silice, 32 de chaux, 18 de protoxyde de fer et 3 d'alumine.

La fabrication de l'acier au tungstène est aujourd'hui de pratique courante dans beaucoup d'usines se servant de creusets. On l'emploie pour les ressorts et divers outils. Le tungstène est ajouté sous forme de wolfram, *réduit* à l'état *fritté* ou transformé en culot fondu. M. Biermann, dont l'usine est à Hanovre, fournit, outre le wolfram réduit, de la fonte de fer au tungstène et du tungstène métallique presque pur. Dans un échantillon de fonte, titrée à 25 p. 100 et provenant de son établissement, j'ai trouvé 22 p. 100 de tungstène en décembre 1874.

La réduction du wolfram se fait très-facilement au rouge lorsqu'il est mêlé à un réductif charbonneux. Étant, il y a vingt ans, ingénieur conseil de la mine de Puy-les-Vignes (Haute-Vienne), j'y fis installer pour cette opération un four à galères pourvu d'une série de tubes verticaux en terre réfractaire. La réduction fonctionnait d'une façon continue : on chargeait par le haut le minerai sableux, mêlé de charbon et de brai, et on le retirait à intervalles égaux par le bas, sous les banquettes voûtées du four. On l'y recueillait dans un étouffoir, puis on séparait facilement le charbon en excès, après refroidissement complet du mélange. On obtenait ainsi un alliage fritté de fer, de manganèse et de tungstène qu'on ajoutait en faibles doses lors de la fusion de l'acier cémenté au creuset.

Depuis lors, en 1876, l'usine de Terre-Noire a fabriqué

la fonte au tungstène dans un four Siemens à sole en carbone, et plus récemment, en 1878, au haut-fourneau même, comme le ferro-manganèse. Cette double fabrication a été installée par les soins de M. Pourcel, l'habile ingénieur des hauts-fourneaux de Terre-Noire.

Pour la fabrication au réverbère, on mêlait au wolfram pulvérisé un cinquième de son poids de houille en poudre, et les fondants nécessaires pour avoir une scorie ferreuse et manganésifère à 25 p. 100 de silice; comme le minerai était peu quartzeux, on ajoutait en général du feldspath, et, pour augmenter sa fusibilité, un poids de spathfluor à peu près égal à la moitié de la scorie en question. La charge étant faite, on chauffait d'abord graduellement pour que la réduction eût le temps de s'opérer; puis, au moment où la surface commençait à fondre, on ajoutait du ferro-manganèse en petits morceaux qu'on incorporait à la charge à l'aide de ringards en forme de crochets. Le triple alliage de fer, manganèse et tungstène fondait alors facilement, après quoi on le coulait à la façon de l'acier Martin ordinaire; mais il est évident que ce mode de fabrication devait être assez coûteux. Il est, en effet, plus simple de fabriquer l'alliage triple au haut-fourneau même, comme le ferro-manganèse.

Dès 1860, M. Köller de Vienne avait obtenu, à l'usine de Mutterhausen (Alsace), dans un simple cubilot, une fonte à 10 p. 100 de tungstène, dont on se servit pour des essais de puddlage. Le succès du traitement direct au haut-fourneau ne pouvait donc être mis en doute. Il réussit effectivement à Terre-Noire vers les premiers mois de 1878 (*).

En chargeant le wolfram avec des minerais de fer et de manganèse et un dosage ultra-basique, le vent étant fortement chauffé, on obtient une fonte au tungstène blanche,

(*) Voy. l'*État présent*, etc., précité, p. 839.

finement grenue, ou même à cassure presque unie, riche en manganèse et en carbone. L'échantillon exposé au Champ-de-Mars renfermerait, d'après l'analyse faite à l'usine même, 24 p. 100 de tungstène, 41,50 de manganèse et plus de 5 de carbone.

Sa densité atteint 9,35.

En ajoutant moins de manganèse, on aurait une fonte plus riche en fer, ce qui serait préférable dans un grand nombre de cas, puisque la fonte en question fournit à l'acier plus de manganèse que de tungstène. Quant à l'emploi de cette fonte, je dirai, comme dans la note précitée de 1862, qu'il ne convient pas de la soumettre au puddlage, à cause de l'oxydabilité trop grande du tungstène et du défaut d'homogénéité du métal puddlé. Même au four Siemens, on doit craindre un déchet notable, à moins de ne l'ajouter que vers la fin, comme le *spiegel* ou le ferro-manganèse; mais on devrait surtout en faire usage pour la fabrication de l'acier dur au creuset, en l'ajoutant en faibles proportions à l'acier puddlé ou cémenté.

Le *ferro-manganèse* est suffisamment connu; de plus, comme je viens de rappeler son emploi, je puis me contenter de le mentionner en passant. Comme l'alliage au tungstène, il fut primitivement préparé à Terre-Noire au four Siemens, ou du moins on opéra d'abord, sur la sole de ce four, l'enrichissement de la fonte manganésifère provenant du haut-fourneau; mais, depuis 1875, grâce à la haute température du vent, on est arrivé, à Terre-Noire, Saint-Louis, Montluçon (compagnie de Fourchambault) et ailleurs, à obtenir, dans les hauts-fourneaux eux-mêmes, des ferro-manganèses à 50, 60, même 80 et 85 p. 100 de manganèse. Il faut pour cela, comme je l'ai déjà dit, une allure ultra-chaude et des laitiers extra-basiques. La haute température nécessaire résulte de ce simple fait, que, tandis que la fonte Bessemer ordinaire peut se produire dans les hauts-fourneaux à vent surchauffé avec une consommation

de 100 p. 100 de coke, on en brûle, pour les ferro-manganèses riches, jusqu'à 200, 250, même 270 p. 100 dès qu'il s'agit d'atteindre des teneurs de 80 à 85 p. 100 de manganèse.

Pour avoir des laitiers moins siliceux, on introduit, outre la chaux et l'alumine, de la magnésie ou de la baryte dans les lits de fusion. Par les travaux de Sefström et de Plattner, on sait que la baryte est plus fondante que la chaux, et que déjà le bisilicate *simple* de baryte (à 28 p. 100 de silice) entre en fusion à la température de cuisson de la porcelaine (*).

Pour rendre les laitiers basiques plus fusibles, M. Pourcel a essayé, en 1876, à Terre-Noire, l'emploi du spathfluor. On sait, en effet, que ce corps augmente la fusibilité et la fluidité de tous les silicates. Sous ce rapport, l'influence du spathfluor est sensible lorsque le vent n'est pas chauffé au delà de 300 à 350 degrés. On retrouve une partie au moins du fluor dans les laitiers qui coulent alors facilement; mais, dès que le vent atteint 600 à 700 degrés, la température, dans la région de fusion, devient telle que tout le fluor est éliminé sous forme de fluorure silicique; le spathfluor est transformé en chaux, et le fluorure silicique rend incombustible le gaz des hauts-fourneaux, c'est-à-dire inutilisable.

Dans ces conditions, le spathfluor a de plus le grave inconvénient de coûter cher, sans agir plus utilement que la castine ordinaire.

Au reste, même l'allure ordinaire en ferro-manganèse riche rend les gaz trop peu combustibles pour pouvoir encore les utiliser au chauffage du vent. Au premier abord, cela peut paraître paradoxal, puisqu'on brûle plus du double de carbone pour le même poids de fonte; mais on se l'explique aisément si l'on réfléchit à la nature du mine-

(*) *Traité de métallurgie*, de M. Gruner, t. I, p. 180.

rai de manganèse, qui fournit de l'oxygène libre par simple calcination. Cet oxygène se dégage dans les parties les plus élevées du fourneau et y transforme CO en CO^2. Les gaz deviennent plus chauds, mais aussi plus riches en acide carbonique. L'appareil Orsat a donné, en effet, au chimiste de l'usine, M. Chavigné, en avril 1875, pour les gaz du haut-fourneau, mesurés au volume :

CO.	4,00
CO^2.	34,70
O.	4,20
Az.	57,10
	100,00

Heureusement que le remède est ici facile. M. Pourcel a de nouveau rendu aux gaz leur combustibilité en ajoutant au lit de fusion (minerai et fondant) 1/17 à 1/12 de son poids en houille crue hydrogénée.

Ainsi que je l'ai déjà remarqué, la proportion de carbone augmente dans les ferro-manganèses avec la teneur en manganèse. D'après les analyses, publiées par la compagnie de Terre-Noire pour l'exposition de 1878, la fonte à 25 p. 100 de manganèse renfermerait 5,20 de carbone ; la fonte à 64 p. 100, 5,65, et le métal à 85 de manganèse, jusqu'à 6,62. D'autre part, M. Boussingault a trouvé, dans deux ferro-manganèses de Terre-Noire, provenant des campagnes de 1875 ou 1876 (*) :

Fer.	50,35	36,28
Manganèse.	43,76	56,16
Carbone.	4,70	5,90
Silicium.	0,28	0,06
Phosphore.	0,01	0,02
	99,10	98,42

Ajoutons, que les ferro-manganèses ne sont plus attira-

(*) *Annales de physique et de chimie*, 5e série, t. XV, p. 91.

bles à l'aimant, tandis que les siliciures le sont comme nous l'avons dit.

Enfin un quatrième alliage, le *ferro-chrome*, peut également s'obtenir, au haut-fourneau, dans les mêmes conditions que le ferro-manganèse et le ferro-tungstène; ce produit se trouvait aussi exposé par la compagnie de Terre-Noire au Champ-de-Mars. Le catalogue porte : chrome 25,30, fer 57,43, manganèse 13,20, carbone 4,75. C'est un métal blanc, fibreux, brillant et dur, dans lequel le carbone paraît augmenter avec la dose de chrome, car M. Boussingault, dans le mémoire précité, mentionne une fonte à 3,8 p. 100 de chrome, qui ne contenait que 4,40 p. 100 de carbone, tandis qu'un culot, obtenu par réduction dans un creuset, a donné à ce savant jusqu'à 5,40 p. 100 de carbone pour une teneur en chrome de 67,15 p. 100. Le ferro-chrome est employé depuis peu, dans quelques aciéries, comme le ferro-tungstène; on l'ajoute en faibles doses à l'acier ordinaire fondu au creuset, afin d'en modifier les propriétés mécaniques. M. Rolland a fait connaître, dans ce recueil même (*), les procédés et produits de l'usine de Brooklyn (New-York), et M. Boussingault rend compte, dans le mémoire précité, des études entreprises sur ce même sujet, chez son gendre, M. Holtzer, à Unieux près de Saint-Étienne. J'extrais de ce dernier mémoire les faits suivants :

M. Boussingault rappelle d'abord, comme M. Rolland, que dès 1820 Berthier s'est occupé des alliages de fer et de chrome; puis il mentionne une fonte produite, en 1867, à Médellin, dans la province d'Antiquoia en Amérique, où, comme je viens de le dire, ce savant a trouvé 3,8 p. 100 de chrome et 4,40 de carbone combiné, sans graphite, mais 0,75 de silicium.

M. Boussingault se demande ensuite, si le chrome, le

(*) *Annales des mines*, 7e série, t. XIII, p. 132.

tungstène, ou d'autres métaux, peuvent transformer le fer doux en acier comme le carbone ? Or, les essais entrepris dans ce but, prouvent, ce que j'ai depuis longtemps cru pouvoir conclure des faits de la pratique, que le pouvoir *aciérant* n'appartient en réalité qu'au carbone, c'est-à-dire, que si beaucoup de substances durcissent, ou aigrissent le fer, le carbone *seul* lui communique la faculté de durcir par la *trempe*, parce que le carbone seul se *dissout en doses* d'autant plus fortes dans le fer que la température est plus élevée, et que le brusque refroidissement de la trempe empêche alors le carbone de se séparer du fer sous forme de *graphite*.

En fait, M. Boussingault vient de prouver que ni le chrome, ni l'iridium, ni l'osmium ne donnent au fer, en l'absence du carbone, la faculté de durcir par la trempe. Par contre le chrome *améliore* les fers carburés, à un autre point de vue; il rehausse leur limite d'élasticité. Les aciers *chromés* supportent facilement, avant de se déformer, une charge presque double de celle qui correspond à la limite d'élasticité des aciers fondus ordinaires renfermant la même dose de carbone. Le chrome augmente aussi la résistance au choc et la charge de rupture; et, quoique les aciers chromés soient plus *durs* à travailler que les aciers ordinaires, on constate néanmoins qu'ils s'allongent autant, sinon plus, avant de se rompre, et que leur cassure reste à *nerfs* tant qu'ils n'ont pas subi la trempe. Ainsi un acier à 0,022 de chrome et 0,006 de carbone ne cède, avant la trempe, qu'à la charge de 70 à 75 kilog., avec 18 à 20 p. 100 d'allongement mesuré sur $0^m,20$, et la *striction*, ou section de rupture, est le tiers seulement de la section primitive. Ce même acier, *trempé à l'huile*, ne se rompt que sous la charge de 140 kilog., et la limite d'élasticité est alors très-voisine de celle de rupture. Un autre acier, tenant jusqu'à 0,040 de chrome et 0,011 de carbone, offrait aussi, avant la trempe, une cassure nerveuse, et ne

s'est rompu que sous la charge de 115 kilog. On a même constaté qu'une tôle forte en acier chromé ne se gerce pas autour de la dépression produite par le choc d'une balle. Notons enfin que le chrome, comme le tungstène, blanchit le fer et rend son grain plus fin. La dureté est même telle, qu'un acier *trempé*, tenant 0,02 à 0,04 de chrome et 0,009 à 0,012 de carbone, raye facilement le verre. Ainsi, en résumé, on le voit, le chrome comme le tungstène, améliore les aciers; aussi, comme le fer chromé est plus abondant dans la nature que le wolfram, il est probable que l'acier au chrome l'emportera à l'avenir sur l'acier au tungstène; il a même l'avantage, comme le siliciure de fer, d'être moins attaquable par les acides que l'acier ordinaire.

Je ne terminerai pas ce paragraphe sur les alliages divers que l'on rencontre dans les fontes, sans rappeler ici la présence, plus fréquente dans les fontes qu'on ne le pense généralement, du *calcium*, du *magnésium* et surtout de l'*aluminium*. Dans mon mémoire sur les aciers, j'ai cité des analyses, d'origines très-différentes, qui toutes mentionnent dans les fontes l'un ou l'autre de ces éléments terreux (*). J'ai mentionné les fontes de Suède, analysées par MM. Eckmann et Eggertz, celles du même pays que cite déjà Durocher; les fontes de deux usines du grand-duché de Hessen-Cassel, dont les analyses ont paru dans le dernier volume des archives de Karsten (t. XXV); une fonte miroitante de Müsen, et une autre de Saint-Louis, toutes deux analysées par M. Frésénius; une fonte blanche d'Eisenerz, analysée par le docteur Percy, etc. Dans toutes ces fontes, et dans beaucoup d'autres, on a trouvé les métaux terreux dont je viens de parler, et cependant quelques chimistes nient encore le fait et assurent que ces éléments terreux doivent provenir de parcelles, ou goutelettes de laitiers, emprisonnées dans les fontes. Le fait est possible,

(*) *Annales des mines*, 6e série, t. XII, p. 210.

sans doute, mais peu probable pour qui connaît la fluidité des fontes et des laitiers au sortir des fourneaux, la grande différence de leurs densités et le repos prolongé auquel le métal fondu a été soumis, avant la coulée, dans le creuset même du fourneau. Voici au reste un fait qui me paraît décisif. Si l'alumine provient de laitiers emprisonnés et non de la fonte même, l'analyse doit donner toujours de la chaux aussi bien que de l'alumine, puisque dans les *laitiers* les deux bases sont toujours réunies. Or, voici deux fontes dans lesquelles l'aluminium se trouve seul sans calcium ni magnésium.

La première de ces deux fontes, analysée par M. le professeur Richter, de l'École des mines de Leoben, vient de Lölling en Carinthie (*); c'est une fonte très-grise qui, refroidie lentement en grandes masses, s'isole, *comme* cela se voit assez souvent, en cristaux réguliers octaédriques, cristallisation qui serait due, selon M. Tunner et à mon avis aussi, au fer proprement dit. Au reste, quoi qu'il en soit à cet égard, voici l'analyse :

Fer (par différence)	94,330
Manganèse	1,010
Aluminium	0,565
Silicium	0,972
Graphite	2,122
Carbone combiné	0,967
Soufre	0,008
Phosphore	0,021
Arsenic	0,005
	100,000

La seconde analyse a été faite, sous mes yeux, au bureau d'essai de l'École des mines, en 1876. C'est une fonte, à texture serrée, d'un gris clair un peu brillant, *fournie* par l'usine de Champigneulle, en Lorraine, pour les colonnes du théâtre neuf de Genève. Ces colonnes s'étant trouvées

(*) *Journal de Leoben*, t. X.

cassantes, on a désiré connaître la nature chimique du métal employé. Un fragment de l'une de ces colonnes, qui s'est brisée, par simple retournement sur le sol dur, a donné :

Silicium	2.263
Aluminium	0,500
Graphite	1,400
Carbone combiné	0,900
Phosphore	1,200
Soufre	0,044

Pas trace de calcium, ni de magnésium, que l'on a cependant recherchés avec soin. Les fortes proportions de silicium et de phosphore, jointes à la faible dose de graphite, suffisent pour expliquer la fragilité de la fonte. L'aluminium a-t-il contribué, d'autre part, à diminuer la résistance, je ne sais? Mais ce qui me paraît indubitable, c'est que, dans ce cas au moins, l'alumine provient réellement de l'aluminium uni au fer, car, je le répète, malgré les recherches les plus soignées, on n'a pas trouvé trace de chaux dans les liqueurs de l'analyse. Je crois donc pouvoir affirmer, tout de nouveau, que les fontes de fer renferment assez souvent, non-seulement du calcium et du magnésium, comme beaucoup de fontes suédoises, obtenues avec des dolomies comme fondant, mais encore de l'*aluminium*, dans le cas surtout de minerais alumineux, pareils à ceux du terrain oolitique de la Lorraine et du Cleveland. Quant à l'influence de cet élément sur les qualités du fer et de la fonte, il serait difficile de la préciser dans l'état actuel de nos connaissances; mais en général, il faut le répéter, la plupart des substances étrangères augmentent l'aigreur du fer.

3° NOUVEAUX ESSAIS DE DÉPHOSPHORATION DE LA FONTE.

On sait que le puddlage, opéré dans de bonnes conditions, permet d'enlever aux fontes les huit dixièmes du phosphore contenu. Des fontes à 0,015 de phosphore peuvent donner des fers puddlés bruts à 0,003 ou 0,004 de phosphore, et des fers marchands corroyés à 0,002 ou 0,003 au maximum. Pour atteindre ce but, il faut munir le four d'une sole en fonte, garnie d'oxyde de fer, et enlever les premières scories, lorsqu'elles se trouvent quelque peu siliceuses. Dans mon travail sur le procédé Heaton, j'ai montré que la proportion de silice n'y devait pas dépasser 30 p. 100, parce que au delà le phosphate de fer est de nouveau décomposé par le carbone et le fer.

Cette condition indispensable de scories *peu siliceuses* exige l'emploi de soles en oxydes de fer ; de plus, il faut que ces soles soient convenablement refroidies, pour que l'action de l'oxyde de fer sur le carbone ne soit pas trop intense et trop rapide.

Jusqu'en 1830, pendant 45 années, le puddlage se faisait sur des soles en sable argileux ; il en résultait des scories siliceuses qui accroissaient le déchet, empêchaient l'oxydation permanente du phosphore et retardaient même celle du silicium. Aussi, dans ces conditions, pour obtenir des fers passables, fallait-il d'abord soumettre la fonte au *finage*, dans un bas foyer, c'est-à-dire, à une *épuration* préparatoire dans un appareil à *parois de fonte.* En fait, l'histoire du puddlage offre *deux* phases, celle des fours à parois *argilo-siliceuses*, puis celle des fours à parois *basiques.*

Or, les affinages *Bessemer* et *Martin-Siemens* ont aussi débuté par les parois siliceuses ; il en résulte, comme dans les anciens fours de puddlage, des scories *siliceuses*, qui retiennent très-peu ou point d'acide phosphorique. On constate, en effet, que les scories provenant de ces deux

modes d'affinage ne renferment jamais moins de 45 p. 100 de silice et à peine des traces d'acide phosphorique. Aussi les fontes *communes*, presque toujours phosphoreuses, ne peuvent-elles pas mieux s'affiner par ces procédés nouveaux que par l'antique puddlage sur sole en sable. Tout le phosphore reste uni au métal. Cependant, deux voies restent ouvertes pour adapter les procédés nouveaux à l'affinage des fontes phosphoreuses. Ou bien, comme dans les anciennes forges anglaises, on peut soumettre d'abord les fontes à une première *épuration* , à un véritable *mazéage;* ou bien, munir les appareils Bessemer et Martin-Siemens d'une garniture *basique*, pareille à celle des fours à puddler modernes. MM. *Lowthian-Bell* et *Krupp* viennent de choisir la première voie; M. *Tessié du Motay*, à Terre-Noire, MM. *Thomas* et *Gilchrist*, à Blaenavon, dans le pays de Galles, la seconde. Ce ne sont encore, de part et d'autre, que des essais, mais des essais qui certainement aboutiront, parce que les difficultés sont après tout d'un ordre secondaire. On peut même ajouter, c'est du moins mon avis, que les deux modes conduiront au but; seulement, comme le premier suppose *deux* opérations distinctes, tandis que le second n'en réclame qu'une, il me paraît évident que celui-ci l'emportera sur l'autre, comme, dans les forges anglaises, le double affinage, dans les *fineries* et dans les fours à *soles en sable*, a fait place au travail unique du *puddlage chaud* sur sole en fonte couverte d'oxyde de fer.

Cela dit, entrons dans quelques détails au sujet de ces divers essais:

Essais basés sur une épuration préalable.

M. Krupp opère l'épuration, qui est un véritable *mazéage*, dans un four Pernot, à sole et parois en fer, garnies d'oxydes de fer riches et manganésifères. Dès que le four est chaud, on y amène la fonte en fusion, puis on donne à la sole le mouvement de rotation destiné à hâter la réaction du

peroxyde de fer sur les éléments oxydables de la fonte. Le silicium, le manganèse, puis le phosphore, s'oxydent d'abord, ainsi que cela se passe dans tout mode d'affinage; c'est la période de la *scorification*, qui précède toujours celle de la *décarburation*. On arrête le travail dès qu'apparaissent les premières bulles annonçant le dégagement de l'oxyde de carbone. On coule alors séparément la fonte épurée et les scories. La fonte est amenée dans un four Martin-Siemens, ou bien reçue dans des lingotières lorsque le travail ultérieur ne peut être entrepris immédiatement. L'opération est rapide si l'on renouvelle à chaque charge la couche oxydée qu'enlève le mazéage à la sole. Quinze minutes suffisent dans ce cas pour une charge de 5 tonnes. L'opération serait évidemment plus longue si l'oxydation ne se faisait que par l'atmosphère du four, sans addition d'oxydes ferreux à chacune des charges. On conçoit d'ailleurs que la durée dépend aussi de la nature des fontes. Celles que traite M. Krupp proviennent surtout de ses propres hauts-fourneaux des bords du Rhin, dans lesquels on fond un mélange de fers spathiques de Siegen et d'hématites brunes ou rouges du duché de Nassau. Le silicium y est en proportion faible et le manganèse s'oxyde rapidement, en sorte que l'épuration exige peu de temps. Remarquons ici que le manganèse de la fonte, comme celui de la sole, favorise, à l'état de protoxyde, l'élimination des acides silicique et phosphorique, sans réagir sur le carbone comme le peroxyde de fer. Le travail ultérieur se fait au four Martin-Siemens, selon la méthode ordinaire. On ne pourrait se servir de l'appareil Bessemer, à moins de mêler à la fonte *finée* une dose assez forte de fonte siliciée et manganésée, destinée à développer la chaleur nécessaire.

M. *Lowthian-Bell* s'est livré, de son côté, depuis deux à trois ans, à des essais analogues (*). Il a surtout étudié,

(*) *Journal of iron and steel Institute*. Trois mémoires des années 1877 et 1878.

avec beaucoup de soins et de persévérance, l'action de l'oxyde de fer sur les fontes phosphoreuses du Cleveland. Le four, dans lequel il a entrepris ses derniers essais de mazéage, est formé d'un tube cylindrique en tôle forte, de dimensions telles que le vide, à l'intérieur de la garniture, mesure $0^m,90$ de diamètre sur $3^m,50$ à 4 mètres de longueur. Le tube est supporté en son milieu par un axe transversal autour duquel il peut osciller comme une balançoire. La moitié inférieure du cylindre est garnie en briques d'oxyde de fer, tandis que le haut est revêtu de briques réfractaires. Dans ce four, chauffé au rouge blanc, on fait arriver la fonte en fusion avec une certaine dose de fer oxydé ou de scories ferrugineuses très-basiques; afin de ménager la garniture du four. Le mouvement oscillatoire promène la fonte d'une extrémité à l'autre, à la vitesse de $0^m,30$ à $0^m,40$ par seconde, et l'expose, comme dans le four Pernot, à l'action oxydante de l'air et des scories ferrugineuses. L'effet est exactement le même; en peu de temps, l'épuration est achevée si l'oxyde de fer est en proportion suffisante pour que la scorie n'absorbe pas au delà de 25 à 30 p. 100 de silice. On peut alors couler séparément la scorie et la fonte *finée*, puis traiter immédiatement celle-ci, comme chez M. Krupp, par le procédé Martin-Siemens, ou dans le convertor Bessemer, en ajoutant, pour ce dernier mode d'affinage, une certaine dose de fonte siliciée ou manganésée pure.

En opérant sur des charges de 1.000 kilog. environ, tenant 2 p. 100 de silicium et 1,5 p. 100 de phosphore, M. Lowthian-Bell est parvenu, dans l'espace de 10 à 20 minutes, à ramener la teneur en silicium, dans le métal *finé*, à 0,097 p. 100, et celle du phosphore à 0,229, tandis que le carbone cède aux agents oxydants moins de 10 à 15 p. 100 de son poids primitif, de sorte que la fonte finée retient encore plus de 3 p. 100 de carbone combiné. On voit que, si la déphosphoration n'est pas absolue, elle est du moins

assez avancée pour que le métal *fini* puisse servir à la fabrication de rails phosphorés peu chargés en carbone (*).

Ainsi donc M. Krupp et M. Lowthian-Bell semblent être parvenus, l'un et l'autre, à enlever à la fonte ordinaire assez de phosphore pour la rendre propre à la fabrication de rails en fer fondu phosphoré. Seulement, il faut le répéter, la méthode suivie implique, comme l'ancienne méthode anglaise, un *double* affinage : le *mazéage* d'abord, sur une sole *basique*, pour l'oxydation du silicium et du phosphore ; puis la *décarburation* proprement dite, dans un réverbère Siemens, sur une sole argilo-siliceuse. Or, à mon avis, on peut faire mieux. Comme dans les forges anglaises *modernes*, il faut arriver à affiner, même les fontes les plus impures, par une opération *unique*. Pour cela, il faut une garniture *basique*, mais une garniture qui ne soit *ni fusible, ni trop oxydante*, afin que l'oxydation du silicium et du phosphore précède toujours la décarburation, même en opérant à très-haute température.

Essais basés sur une opération unique.

Nous venons de dire que la condition nécessaire, pour réussir en une *seule* opération, est l'emploi d'une *garniture basique, peu fusible et peu oxydante.* Il faut, d'ailleurs, opérer à une température très-élevée pour que le produit final, *fer doux ou acier*, puisse être coulé en lingots, comme dans les procédés Bessemer et Martin-Siemens ordinaires. Il faut donc remplacer l'oxyde de fer par la *chaux*, la *magnésie* ou l'*alumine.* Les trois bases furent effectivement essayées. Le Chatellier avait conseillé à M. Siemens l'emploi de la *Bauxite.* Celle-ci se compose en effet d'alumine hydratée, mais renferme néanmoins encore trop de silice pour pouvoir être utilisée dans cette circonstance.

(*) M. Lowthian Bell m'écrit qu'il construit en ce moment une usine pour y appliquer son procédé en grand.

La *magnésie* fut employée par M. Tessié du Motay à Terre-Noire. Il en revêtit une cornue Bessemer, disposée en forme de tube en U. Les briques résistèrent, mais leur prix est fort élevé, et les essais furent d'ailleurs discontinués par des motifs étrangers à l'emploi spécial de la magnésie.

Reste la *chaux;* il est facile de l'avoir pure, et son prix n'est nulle part élevé. Son infusibilité et sa faible conductibilité pour la chaleur sont connues ; c'est grâce à ces qualités que le calcaire sert en Styrie et dans le Chatillonnais pour le revêtement intérieur de plusieurs hauts-fourneaux, et que M. H. Deville a pu y fondre le platine. Mais la chaux vive absorbe l'humidité et perd alors toute consistance. Il faut donc la combiner avec un élément qui lui enlève ce fâcheux défaut. Un peu d'argile et une cuisson intense, propre à former un silico-aluminate de chaux, pourraient réussir. Dans mon traité de métallurgie générale, j'avais proposé dans ce même but le silicate de soude (*verre soluble*) (*). Cette idée a été récemment mise en pratique par deux jeunes métallurgistes anglais, MM. G. *Thomas* et C. *Gilchrist*, à Blaenavon, dans le pays de Galles. Ils ont garni avec ce mélange une petite cornue Bessemer de la contenance de 150 à 200 kilog., que l'on chauffait fortement avant d'y introduire la fonte. Lorsque celle-ci était elle-même très-chaude au début de l'opération, l'affinage se faisait bien et le métal restait fluide jusqu'à la fin. Le phosphore s'oxydait vite et restait dans les scories, malgré la température élevée du bain métallique, du moins quand la garniture ne tenait pas au delà de 15 à 16 p. 100 de silice, et lorsqu'on faisait réagir de plus, sur la fonte, 5 à 10 p. 100 de chaux vive, ou un mélange de chaux et d'oxyde de fer riche. Avec ces additions, la proportion de silice se trouvait ramenée dans les scories à moins

---

(*) *Traité de métallurgie*, t. II, p. 206.

de 20 p. 100, et le métal affiné ne retenait souvent pas au delà de 0,001 de phosphore. Il fallut cependant modifier là garniture, car elle ne résistait pas à un nombre suffisant d'opérations.

MM. *Thomas* et *Gilchrist* essayèrent alors des briques préparées avec un calcaire magnésien légèrement argileux. Le calcaire fut broyé, les briques fortement comprimées, puis cuites à une température excessive, longtemps prolongée. On obtint ainsi un produit dur et dense qui, malgré la faible proportion de silice, ne se délite nullement à l'air. Je possède deux briques qui n'ont pas subi la moindre altération depuis cinq mois : c'est un silico-aluminate bibasique de chaux et de magnésie, comme le prouve l'analyse suivante, faite à ma demande au bureau d'essai de l'École des mines de Paris :

		Oxygène.	
Silice.	12,3	6,39	12,08
Alumine.	11,2	5,23	
Peroxyde de fer.	1,5	0,46	
Chaux.	49,3	13,85	23,60
Magnésie.	25,2	9,75	
	99,5		

Comme densité, j'ai trouvé 2,80.

La petite cornue Bessemer, ci-dessus mentionnée, fut revêtue de briques ainsi préparées, et les opérations conduites, comme précédemment, avec des additions de chaux et d'oxydes de fer, afin de ménager la garniture.

Les essais furent assez nombreux ; je n'en citerai que trois, qui montrent l'influence de la silice des scories sur le phosphore du métal obtenu. Je rappelle que la fonte traitée tenait 1,4 à 1,5 p. 100 de phosphore.

Première expérience, où le réactif basique ajouté s'est trouvé en proportion insuffisante.

La scorie produite renfermait :

Silice.	25,1
Acide phosphorique.	11,5
Chaux et magnésie.	40,0

Le métal affiné retenait encore 0,0085 de phosphore.

Deuxième expérience, où le poids absolu de la scorie était trop faible, en sorte que, par sa forte teneur en acide phosphorique, elle a réagi sur le métal.

On a trouvé dans la scorie :

Silice	18,8
Acide phosphorique	14,4

Le lingot tenait encore 0,005 de phosphore.

Troisième expérience, faite dans de bonnes conditions. La scorie a donné :

Silice	15,9
Acide phosphorique	11,7

Le métal ne retenait plus que 0,0008 de phosphore.

Ces expériences prouvent nettement que, même à la haute température de l'affinage Bessemer, la déphosphoration est possible dès que la scorie est basique et en proportion suffisante, eu égard au poids du métal, pour qu'elle ne reste pas elle-même chargée de plus de 11 à 12 p. 100 d'acide phosphorique. Comme vérification, j'ai fait analyser, au bureau d'essai, une scorie provenant d'une bonne opération. On y a trouvé :

Silice	20,30
Acide phosphorique	11,80
Acide vanadique	0,36
Chaux	30,30
Magnésie	3,60
Alumine	5,30
Protoxyde de fer	25,20
Protoxyde de manganèse	3,10
Pas de sulfure ni d'acide sulfurique	99,96

Au sujet de l'acide vanadique, je remarquerai que le vanadium paraît toujours accompagner le phosphore dans les minerais de fer de l'étage oolithique. Je l'ai signalé, il y

a dix ans, dans les fontes de la Lorraine, soumises aux essais de déphosphoration par le procédé Heaton.

Quant à la déphosphoration elle-même, on peut conclure de ce qui précède qu'elle est possible dans l'appareil Bessemer, lorsque la garniture n'est pas chargée de plus de 15 p. 100 de silice et lorsque les additions basiques sont en proportion suffisante pour ramener, dans les scories, la proportion de silice à moins de 20 p. 100 et pour que celle de l'acide phosphorique n'y dépasse pas 12 p. 100. Dans ces conditions, on peut abaisser le phosphore, dans le métal, de 0,015 à 0,001.

Ainsi donc, la transformation des fontes phosphorées en lingots d'acier, ou en fer doux fondu suffisamment épuré, est possible par une opération *unique*, dans le *convertor Bessemer*, et par cela même aussi dans un *four Siemens*, dont la sole et les parois seraient garnies d'une façon analogue.

Les expériences, faites à Blaenavon, ont ouvert la voie. Il ne reste plus qu'à trouver, dans chaque cas particulier, les matériaux les plus propres à fournir un bon revêtement *basique*. Les dolomies, légèrement argileuses, semblent devoir convenir dans la plupart des cas. Il faut les transformer, par une très-forte cuisson, en *silico-aluminates bibasiques* de chaux et de magnésie.

Toutes les difficultés ne sont cependant pas encore vaincues, cela est évident; mais les moyens pour réussir sont aujourd'hui connus, il ne s'agit plus que de les appliquer avec discernement. Je crois, en particulier, que l'opération doit être, à cause de la garniture, plus facile dans un four Martin-Siemens que dans la cornue Bessemer; mais enfin l'expérience seule peut trancher la question, et je ne doute pas qu'elle ne le soit très-prochainement, à cause du grand intérêt qu'elle offre aux nombreux maîtres de forges des districts du Cleveland et de la Lorraine.

Quant à la pureté du métal produit, il convient de ne

pas se faire illusion : on n'obtiendra jamais des aciers pour essieux, bandages et outils divers, ni des fers doux fondus pour tôles de chaudières ; mais on produira des rails légèrement phosphorés, d'une dureté et ténacité suffisantes pour résister aux épreuves prescrites. Et certes, ce serait un immense résultat, à tous les points de vue, si l'on pouvait désormais réserver les minerais riches et purs pour la production des aciers et fers de choix, et se servir des minerais *communs* pour la fabrication des rails en métal fondu.

Et maintenant, en terminant, je tiens à le rappeler de nouveau, deux solutions sont possibles : on peut diviser le travail en *deux* temps ou l'achever dans une opération *unique;* c'est-à-dire, produire d'abord, selon le système de MM. Krupp et Lowthian Bell, des fontes *finées déphosphorées*, qu'on décarbure ensuite dans un four Martin-Siemens ; ou bien, transformer d'un seul coup la fonte ordinaire en métal pur décarburé, en se servant de convertors Bessemer ou de réverbères Siemens à garnitures basiques non oxydantes. Or, il me paraît évident que ce dernier mode d'opérer, s'il est possible, devra être préféré au point de vue du prix de revient et de la simplicité du travail.

NOTE-ANNEXE SUR UN PYROXÈNE DIOPSIDE ARTIFICIEL.

Je joins à la note sur la déphosphoration une courte notice sur un beau produit cristallin obtenu lors de la cuisson des briques calcaréo-magnésiennes ci-dessus mentionnées. En calcinant ces briques à très-haute température, dans un four à parois siliceuses, celles qui touchaient ces parois sont entrées en fusion et ont donné, par refroidissement lent, un amas de beaux cristaux transparents, gris-bleuâtres, qui ressemblent exactement au *pyroxène diopside* naturel.

L'analyse, faite au bureau d'essais, a donné, en effet :

		Oxygène.	
Silice	52,6	27,33	
Alumine	0,0		
Protoxyde de fer	0,3		
Chaux	27,8	7,81	15,12
Magnésie	18,9	7,31	
	99,6		

C'est, on le voit, du bisilicate de chaux et de magnésie, sans traces d'alumine. Celle-ci a été expulsée des briques basiques par la silice en excès.

D'autre part, M. Friedel a reconnu que les angles des cristaux sont bien ceux du diopside.

La formation de ces cristaux est, du reste, assez fréquente dans les usines où l'on emploie comme fondant, ou minerais, des matières magnésiennes. C'est le cas spécialement de beaucoup de laitiers suédois (*). Berthier a obtenu, de son côté, il y a longtemps, du pyroxène diopside cristallisé en fondant, dans un creuset, la silice, la chaux et la magnésie dans les proportions voulues.

(*) M. Rammelsberg cite, dans sa *Métallurgie chimique*, plusieurs laitiers suédois en masses cristallines lamelleuses, dont la composition diffère très-peu de celle du diopside.

MÉMOIRE

SUR

LA GÉOLOGIE ET L'EXPLOITATION DES GITES DE GRAPHITE

DE LA BOHÊME MÉRIDIONALE

Par M. BONNEFOY, élève-ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

Les gîtes de graphite de la Bohême méridionale ont une certaine importance industrielle; la quantité, et même, pour une partie, la qualité des produits qu'ils fournissent leur mériteraient peut-être plus d'attention qu'ils n'en ont obtenu jusqu'ici. Je ne crois pas qu'ils aient encore été décrits dans aucun ouvrage français, ou que l'un des auteurs autrichiens qui en ont parlé, plus ou moins incidemment, ait été traduit dans notre langue.

Il m'a paru intéressant d'étudier ces gîtes dans le courant d'un voyage de mission en Autriche-Hongrie, en 1877; le présent mémoire contient les divers renseignements que j'ai pu me procurer sur leur géologie et sur leur exploitation.

Bien que cette exploitation soit plus active que celle des autres gisements analogues connus en Europe, elle ne présente, au point de vue technique, qu'un petit nombre de circonstances remarquables. Je pourrai donc traiter assez rapidement cette partie de la question; je donnerai toutefois avec quelques détails les procédés de lavage des graphites de qualité inférieure, parce que ces procédés constituent une petite industrie spéciale, appelée sans doute à de nombreux perfectionnements.

La partie géologique m'a semblé offrir plus d'intérêt. J'ai cru devoir m'occuper, non-seulement des gîtes en eux-mêmes, mais aussi de la disposition générale de la contrée, en y recherchant surtout les faits capables de donner quelques notions sur l'origine et le mode d'apparition du graphite. Je me suis constamment aidé des travaux suivants, publiés dans le *Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt*, de Vienne : *Geognostische Studien aus dem Böhmerwald. — I Granulit und Serpentin in Südlichen Böhmen*, par M. le Dr Ferdinand de Hochstetter, *1854*. — *Die Kalk-und Graphitlager bei Schwarzbach in Böhmen*, par M. Karl Peters, 1851.

J'ai en outre consulté avec grand profit l'ouvrage célèbre de M. Gümbel : *Geognostische Beschreibung des Oestbayerisches Grenzgebirges*. Les autres sources auxquelles j'ai pu puiser quelques renseignements seront indiquées chacune au sujet des questions qui s'y rapportent.

PREMIÈRE PARTIE.

GÉOLOGIE.

Les gîtes de graphite que je me propose de décrire sont situés au sud-ouest de Budweis, près de la petite ville de Krumau et du village de Schwarzbach, à l'intérieur d'une boucle très-accentuée que forme la Moldau non loin de sa source. Cette rivière, qui commence par couler du nord-ouest au sud-est, le long du Böhmerwald, se retourne d'abord vers la direction nord-nord-ouest, puis vers le nord-est au delà de Krumau. La contrée qu'elle traverse ainsi jusqu'à Budweis dépend d'une vaste formation de roches cristallines, dont je dois indiquer sommairement la disposition d'ensemble.

Cette formation occupe le sud et en partie le centre de a Bohême, l'ouest de la Moravie, le nord de la Haute et de la Basse-Autriche, et l'est de la Bavière.

Des termes étrangers à la série cristalline y sont enclavés çà et là. Je signalerai spécialement quelques couches tertiaires, dont les principales s'étendent vers Budweis et Wittingau, et un petit bassin anthracifère au nord-est de Budweis. En outre, des schistes argileux anciens ou phyllades (*Thonschiefer*), existent dans les régions nord, nord-ouest et nord-est ; tantôt ils forment des îlots au milieu du gneiss ou du granite ; tantôt ils séparent le granite des terrains siluriens.

Parmi les roches cristallines, le gneiss, avec les termes subordonnés qui en dépendent, domine de beaucoup. Mais le granite couvre aussi des étendues considérables, et il a une influence très-marquée sur la configuration de l'ensemble. Un grand massif de granite, adossé au Danube, occupe la région la plus méridionale et envoie deux prolongements : l'un le long du Böhmerwald, c'est-à-dire dans la direction nord-ouest, l'autre vers le nord-nord-est, jusque dans les environs d'Iglau et de Deutschbrod. Une autre formation granitique s'étend à l'intérieur de la Bohême, dans la direction nord-est-sud-ouest ; c'est sur sa frontière nord-ouest que s'appuie le bassin silurien devenu classique par les études de M. Barrande ; du côté sud-ouest, une série de petits îlots disséminés dans le gneiss va rejoindre le granite du Böhmerwald.

Il existe en outre quelques massifs de dimensions moindres en différents points de la Moravie, notamment au nord-est de Trebitsch. A l'ouest et au nord de Brünn se trouvent des syénites.

Occupons-nous maintenant des diverses roches subordonnées au gneiss ; les surfaces qu'elles couvrent sont relativement restreintes.

Les *micaschistes* sont peu développés ; ils n'apparaissent

en masses de quelque importance qu'en deux régions : 1° entre Neuern et Eisenstein, sur la frontière de la Bohême et de la Bavière ; 2° au sud de Krumau, entre Welleschin et Rosenberg.

On observe au contraire en abondance certaines roches microcristallines, que les géologues autrichiens ont étudiées sous le nom de *granulites*. Elles sont en effet, tant par leurs caractères lithologiques que par leur *mode de* gisement, tout à fait analogues à celles qui constituent, en Saxe, la formation célèbre pour laquelle le mot de *granulite* a été créé. Je ne me servirai cependant pas de cette dénomination, car je considérerai, avec M. de Hochstetter, les roches dont il s'agit comme stratifiées et intimement liées aux gneiss ; pour me conformer aux habitudes françaises, je devrai donc les désigner par le mot de *leptynites*.

D'assez importantes formations de leptynites existent dans la Basse-Autriche : 1° vers le sud-est, au bord du Danube, près de Mäutern et Saint-Polten ; 2° à l'est de Waidhofen. Mais ces roches sont encore mieux développées à l'ouest de Budweis, où j'aurai à les étudier ; elles y apparaissent en trois massifs qu'on désigne respectivement par les noms des localités de Krumau, Prachatitz, Christianberg.

C'est une circonstance commune aux leptynites de ces trois massifs et aussi à ceux de Mäutern et Saint-Polten, d'être accompagnés sur leurs frontières par des *serpentines* et par des *roches amphiboliques*. Les serpentines se trouvent rarement ailleurs ; mais au contraire les roches amphiboliques se montrent seules en une foule de points, spécialement au sud-est, formant de petites intercalations dans le gneiss.

Le *calcaire cristallin* est presque aussi fréquent que ces intercalations amphiboliques, avec lesquelles il est d'ailleurs ordinairement en rapport, et c'est avec ces deux termes associés qu'apparaît surtout le graphite.

Il s'en faut de beaucoup que le *graphite* soit exclusi-

ement concentré dans les environs de Krumau et de chwarzbach. On le retrouve, au contraire :

1° En beaucoup d'autres localités de la Bohême, par exemple près de Mies et de Kuttenberg ;

2° Sur la frontière de la Bohême et de la Moravie, à Swojanow ;

3° En Moravie, où ses gisements sont extrêmement nombreux ;

4° En Basse-Autriche, surtout dans la partie de cette province qui est au nord du Danube, mais aussi dans la région de Mäutern et de Saint-Polten.

Enfin des gîtes importants existent en Bavière, non loin de Passau.

La contrée à l'étude de laquelle je m'attacherai maintenant est d'une constitution géologique assez complexe, car, excepté les schistes argileux, toutes les roches dont je viens de donner la disposition générale s'y trouvent représentées. Elle est figurée à la Pl. IV, *fig.* 1, par la reproduction, à échelle réduite, d'une des feuilles de la carte publiée par l'Institut géologique de Vienne. Aucune des indications orographiques de l'original n'ayant été conservée, j'y suppléerai, autant que possible, par une courte description.

La zone, spécialement riche en graphite, qui s'étend entre Krumau et Schwarzbach, est occupée par un ensemble de collines doucement ondulées, atteignant comme cote maximum 800 ou 850 mètres. Mais vers le nord et surtout vers l'ouest, le terrain s'élève graduellement. La partie ouest se rattache en effet à la chaîne du Böhmerwald ; on peut y distinguer : la chaîne principale, dont la cime la plus haute est dans cette région le Plöckelstein (1.375 mèt.) ; et un chaînon parallèle qui se termine au sud par le Langeberg (1.187 mèt.) ; entre les deux coule la Moldau.

Au nord de Krumau, s'élève un autre groupe montagneux formé de deux massifs encore parallèles au Böhmerwald ; ce sont : le Planskerwald, avec sa cime du Schöninger (1.050 mèt.), et le Klukberg (690 mèt. seulement). Ces deux massifs comprennent entre eux la vallée de Krems ; à l'ouest et au nord-ouest, ils se rejoignent, l'un avec l'autre, et tous deux avec la chaîne principale du Böhmerwald, par des hauteurs de 900 à 1.000 mètres.

Au contraire, vers l'est, du côté de Budweis et de Welleschin, le pays devient beaucoup moins accidenté.

J'aborde à présent l'étude de la composition et du mode de gisement des diverses roches de la contrée, en suivant l'ordre qui me paraît le plus convenable pour faire connaître leurs relations mutuelles.

Gneiss. — Comme feldspath, l'orthose y domine beaucoup; mais on y observe aussi un peu d'oligoclase. Quelquefois le quartz et le feldspath sont les seuls éléments constituants de la roche ; mais d'habitude il s'y trouve en outre du mica : c'est presque uniquement du mica noir.

Comme minéraux accidentels dans le gneiss, on peut citer : l'amphibole, qui est très-fréquente, dans les roches de passage avec les intercalations exclusivement amphiboliques; le grenat, et même la tourmaline; ces deux derniers éléments, comme on le verra plus loin, au voisinage des leptynites.

La texture est très-variable : tantôt la roche est bien feuilletée; tantôt elle est seulement écailleuse. On a de même des différences considérables dans l'épaisseur des zones de rubannement. Des modifications importantes de la texture se constatent surtout dans les termes de transition entre les gneiss et les granites.

La stratification du gneiss est toujours bien visible; sauf en quelques points exceptionnels où les couches sont tor-

dues et repliées. A l'intérieur de la Bohême, la direction dominante est celle du nord-est, avec pendage nord-ouest, c'est-à-dire une direction perpendiculaire à celle du Böhmerwald. Mais en arrivant auprès des massifs granitiques qui se succèdent le long de cette chaîne, le gneiss, après quelques ondulations, se retourne nettement vers la direction nord-ouest ou nord, avec pendage vers le nord-est ou vers l'est, de sorte que ses couches viennent s'appuyer sur les flancs des massifs granitiques.

Les études de M. Gümbel sur le versant bavarois du Böhmerwald l'ont conduit à y distinguer dans le gneiss deux formations superposées :

1° La formation bojenne, ou des gneiss rouges, qui occupe le niveau inférieur ;

2° La formation hercynienne, ou des gneiss gris.

Des recherches analogues, faites en d'autres contrées, en particulier au Canada et en Scandinavie, paraissent confirmer ces résultats et les généraliser d'une façon remarquable. Les géologues suédois, par exemple, après avoir établi les deux divisions correspondantes dans le gneiss de la presqu'île scandinave, tendent à leur attribuer le même ordre de superposition (*).

Le gneiss de la Bohême méridionale, par sa nature lithologique et par les roches qui lui sont subordonnées, s'assimile parfaitement à la formation hercynienne. Nous pouvons donc admettre, en ce qui concerne spécialement la région des gîtes de graphite, que nous nous y trouvons en présence des termes supérieurs de la série gneissique.

Micaschistes. — Les micaschistes de Welleschin et de Rosenberg sont seulement contigus à la région du graphite ; ils n'en font réellement pas partie. Aussi en parlerai-je d'une façon très-succincte.

(*) *Om Sveriges lagrade urberg, jemförda med sydvestra Europas*, af David Hümmel, 1875.

Les deux micas s'y trouvent à la fois; tantôt l'un, tantôt l'autre est dominant. Le quartz est en quantité variable; quand il y en a beaucoup, la roche est micro-cristalline; elle devient grossièrement schisteuse quand il y en a peu, et finement schisteuse quand il n'y en a plus ou presque plus.

La direction est toujours nord-est, avec pendage nord-ouest; il en résulte que les micaschites se présentent comme simplement intercalés dans les gneiss, qui les bornent à l'est et à l'ouest. Au sud et au sud-est ils s'appuient sur des granites.

Nulle part, sur le bord de la formation de micaschistes, il n'y a de limite bien tranchée. Pour le gneiss, le passage se fait à l'ouest par des intercalations gneissiques de plus en plus développées; à l'est, se trouve, comme intermédiaire, une bande étroite de roche chloritée, en partie grenue, en partie schisteuse, au voisinage de laquelle le gneiss contient de la tourmaline. Pour le granite, les micaschistes se fondent avec lui par des transitions insensibles.

Leptynites. — Le feldspath y est blanc ou jaunâtre, rarement rougeâtre et toujours en grains très-fins. C'est de l'orthose; l'oligoclase n'apparaît qu'exceptionnellement. Le quartz, jaunâtre ou gris, est l'élément qui détermine la texture de la roche; il la rend grenue lorsqu'il est en petits grains ou lentilles, et feuilletée quand il se dispose en lamelles parallèles.

Le mica, noir ou brun, est assez habituel; il peut néanmoins faire complétement défaut; lorsqu'il apparaît, il modifie aussi la texture d'une façon notable; il rend esquilleuses les variétés grenues, et nettement rubannées les variétés feuilletées.

Le grenat ne manque jamais ou presque jamais; mais ses cristaux ne dépassent pas le grain moyen de la roche et ne sont souvent discernables qu'à la loupe.

Le dysthène apparaît parfois; il semble se trouver spécialement dans les variétés grenues et très-micacées.

Le mica blanc fait à peu près constamment défaut ; c'est là un caractère remarquable, car il éloigne les roches que nous étudions actuellement du type franchement éruptif pour lequel a été réservé le nom de granulite. Mais, d'autre part, elles s'en rapprochent par certaines variétés assez fréquentes, qui contiennent de la tourmaline. Ce minéral se présente en aiguilles disséminées ou réunies sous forme de bouquets ; il exclut toujours le mica noir ; au contraire, il s'accompagne parfois d'un peu de mica blanc. Il n'apparaît que dans des leptynites à texture très-grenue.

Les transitions du leptynite au gneiss ont lieu d'habitude à l'aide du mica, qui fait passer les leptynites grenus à des gneiss à schistosité épaisse, et les leptynites feuilletés à des gneiss finement rubannés. D'ailleurs, lorsque la roche est déjà devenue nettement gneissique, le grenat peut s'y trouver encore. Les gneiss à grenat ont été signalés notamment dans la région de Tisch, entre les trois formations de leptynites, et aussi en divers points de la région de Krumau, particulièrement à Maidstein, où la vallée de Krems débouche sur la Moldau. Au contraire, le grenat est rare, en Bohême, dans les gneiss éloignés des régions à leptynites.

La tourmaline établit une autre liaison importante entre les leptynites et certains gneiss. On le constate au flanc nord du Klukberg, où se trouvent, à côté de leptynites à tourmaline, des gneiss à tourmaline. Le même minéral est encore abondant dans les leptynites situés sur la frontière nord-ouest du massif de Krumau. A l'intérieur de ce massif, les diverses variétés, qui résultent des changements de texture et de composition, paraissent se succéder sans aucune règle.

En masse, les leptynites présentent une division très-accentuée en dalles parallèles ; la direction des plans de séparation concorde presque toujours avec celle des zones de rubannement quand celles-ci existent. L'aspect est tout

à fait celui d'une roche stratifiée. M. de Hochstetter, après une étude approfondie des trois massifs de leptynites de la contrée, est en effet arrivé à conclure qu'ils ne sont nullement d'origine éruptive, mais qu'ils font au contraire partie intégrante de la série gneissique. Ce sont, d'après lui, de simples lentilles intercalées, en concordance avec la stratification générale. Il serait peut-être plus exact de voir dans ces leptynites les restes d'une formation autrefois continue et d'admettre qu'ils représentent, dans la succession des couches cristallines, un niveau immédiatement supérieur au gneiss.

Roches amphiboliques. — Au point de vue de la composition minéralogique, on trouve tous les intermédiaires entre des roches exclusivement formées d'amphibole et des gneiss de moins en moins amphiboliques. En même temps que le feldspath acquiert la prédominance, on voit apparaître le mica et même le quartz. De nombreuses variétés sont grenatifères. Les mouches de pyrite sont très-fréquentes.

Le plus habituellement, la roche est zonée par des alternances de lits feldspatiques et de lits amphiboliques; elle présente en même temps une schistosité nette, avec surfaces de séparation très-lisses. Cependant il peut arriver aussi que la structure soit entièrement massive.

Les intercalations amphiboliques sont très-nombreuses au sein du gneiss dans la région comprise entre Krumau et Schwarzbach. Mais on les rencontre en outre sur les frontières de chacune des trois formations de leptynites, s'interposant entre ceux-ci et les gneiss. La plus puissante des bordures de ce genre se trouve immédiatement au nord de Krumau, entre la ville et les leptynites du Planskerwald.

Quelle origine doit-on attribuer à ces roches amphiboliques? Au premier abord, on serait sans doute porté à les considérer comme résultant de variations accidentelles dans la nature du gneiss. Leur schistosité fréquente et leur

position conforme à la stratification paraissent justifier cette hypothèse. Ces caractères ne sont cependant pas incompatibles avec une origine éruptive; celle-ci serait au contraire indiquée par le peu de continuité des intercalations amphiboliques et leur dispersion irrégulière. Mais, en tout cas, on peut le dire avec certitude, ces intercalations ne sont postérieures à aucune des roches franchement éruptives de la région.

A côté de celles dont il vient d'être question, existent quelques roches amphiboliques d'un autre genre, dont l'origine éruptive n'est nullement douteuse. Elles apparaissent en filons bien nets; on a eu surtout occasion de les observer dans les gîtes de calcaire cristallin.

Serpentines. — Des serpentines se trouvent en rapport avec les formations de leptynites, à peu près dans les mêmes circonstances que les intercalations amphiboliques.

Ces serpentines sont de couleur noire verdâtre, au moins dans la cassure fraîche. Quoique bien compactes, elles affectent, par leur mode de division en grand, une apparence de stratification. Au contraire, sous le choc du marteau, elles se brisent en fragments nombreux et irréguliers, à cause des fissures qui parcourent la masse en tous sens et y constituent des surfaces de rupture toutes préparées. Ces fissures sont remplies de chrysotile, de chlorite, de talc et d'asbeste. De plus petites déchirures renferment de la calcédoine et de l'opale; ces derniers minéraux se trouvent également en rognons, ainsi que de la magnésite. Le fer oxydulé existe constamment, quelquefois en veinules, mais bien plutôt à l'état de grains disséminés. La roche agit toujours fortement sur l'aiguille aimantée.

On rencontre de temps en temps, isolées dans la serpentine, des parcelles d'enstatite. Une autre substance qui se présente encore accessoirement, mais parfois en assez grande quantité, c'est le grenat pyrope. On observe fréquemment autour de chacun de ses cristaux une petite

zone d'un minéral chlorité, de couleur brune, disposé en fibres ou lamelles qui sont implantées normalement à la surface du grenat et se fondent extérieurement dans le reste de la roche.

La serpentine se montre, sur des étendues variables, le long des frontières de chacune des trois formations de leptynites; elle s'intercale entre les leptynites et les roches amphiboliques qui les bordent souvent, ou, si celles-ci font défaut, entre les leptynites et les gneiss.

En étudiant la formation de leptynites qui est située au nord de Krumau, M. de Hochstetter a rencontré sur sa périphérie cinq gisements de serpentine. Mais c'est à l'intérieur même de la formation, dans la vallée de Krems, qu'il a trouvé cette roche développée sur la plus grande surface. Elle y occupe les parties les plus basses; quand on commence à gravir les pentes, on la voit s'arrêter à peu près constamment au même niveau; aussi les contours de son affleurement sont-ils profondément découpés par les contreforts montagneux qui se détachent des flancs de la vallée. La serpentine se présente donc, ici encore, comme une puissante intercalation (*).

A son contact avec les leptynites, la serpentine s'en sépare avec une entière netteté. Avec les roches amphiboliques, elle offre, au contraire, des transitions continues. Sur la zone de passage, les caractères lithologiques deviennent très-indécis; on peut y trouver, par exemple, une partie ayant encore l'aspect extérieur de la serpentine, mais renfermant déjà des cristaux d'amphibole. C'est ce qui a conduit M. de Hochstetter à admettre, pour expliquer le mode de gisement de la serpentine, qu'elle est le résul-

(*) Depuis le travail de M. de Hochstetter, on a découvert quatre nouveaux gisements de serpentine à l'intérieur de la même formation de leptynites : *Mineralogische Beobachtungen aus dem Böhmerwald*, par M. Helmhacker (*Mineralogische Mittheilungen* de G. Tschermack, 1873).

tat d'une transformation subie par les roches amphiboliques.

L'étude microscopiqne de quelques échantillons que j'ai rapportés d'Ottetstift (*), près de Schwarzbach, ne confirme nullement cette hypothèse.

La serpentine, taillée en plaque mince, montre, en effet, la disposition suivante. Des traînées de fer magnétique y dessinent un réseau à mailles grossièrement polygonales. L'intérieur de chaque maille est parfois entièrement occupé par la serpentine; mais, le plus souvent, on y retrouve encore, vers le centre, un noyau inaltéré, agissant vivement sur la lumière polarisée, qu'un examen attentif permet de reconnaître pour de l'enstatite (**). Ce minéral, nous le savons, était déjà visible à l'œil nu, mais en quantité beaucoup trop faible pour qu'on pût deviner son importance réelle.

Nous sommes en droit d'affirmer, d'après ce qui précède, que, contrairement aux idées de M. de Hochstetter, la serpentine possède une individualité propre. Elle dérive d'une roche spéciale, abondamment pourvue d'enstatite.

En ce qui concerne son âge, nous verrons plus loin qu'il y a lieu de la regarder comme contemporaine du calcaire cristallin, et nous montrerons que celui-ci est postérieur aux roches amphiboliques. Il en serait donc de même pour la serpentine.

Granites. — 1° *Granite ancien.* Les massifs granitiques qui s'étendent à la fois sur la Bohême, la Moravie, la Bavière, la Haute et la Basse Autriche, sont constitués par des roches qui, sans être absolument identiques, présentent du moins entre elles de nombreuses analogies.

(*) MM. Fouqué et Michel Lévy ont bien voulu se charger d'en faire l'examen.

(**) On observe aussi çà et là quelques plages de bastite. Le péridot, qu'on aurait pu s'attendre à rencontrer, n'a pas été constaté.

Ces roches se rattachent au groupe que M. Gümbel a étudié sous le nom de *stockgranit* (granite en massifs), par opposition au *lagergranit* (granite en lits intercalés) et au *ganggranit* (granite en filons).

On peut prendre, comme type du groupe, un granite très-développé en Autriche et remarquable par sa structure largement porphyroïde. L'orthose y est blanc, rougeâtre seulement dans quelques passages à des syénites, et constamment maclé. Le quartz est incolore ou grisâtre, le mica exclusivement noir. La roche passe fréquemment au gneiss par l'orientation du mica; ailleurs elle présente des parties isolées en forme de veines ou d'amas, dans lesquelles le mica disparaît, en même temps que le grain devient très-fin. Afin de rappeler ces inégalités d'aspect, et quelques autres encore, M. Peters a proposé le nom de « granite irrégulier à gros grain. » C'est pour la même roche que M. Gümbel emploie la dénomination de *kristallgranit*.

Les substances accessoires sont très-peu fréquentes; sauf parfois un peu de pyrite et sauf l'amphibole dans les régions où la roche tourne à la syénite, il n'y en a pas à signaler.

A côté du type principal que nous venons de décrire, se présentent en divers points des variétés importantes, dont un très-bon exemple nous sera fourni par le granite du Plöckelstein (*steinwaldgranit* de M. Gümbel), à proximité des mines de graphite.

Le granite du Plöckelstein occupe toute l'extrémité sud du Böhmerwald, jusqu'à la vallée transversale où coule la Kalt-Moldau. Il est surtout développé sur le versant bohémien; il se prolonge sur la rive gauche de la Moldau pour former une partie du groupe montagneux du Langeberg.

Dans ce granite, comme dans celui du type principal, les cristaux d'orthose présentent toujours une ligne de macle très-visible. Ce qui constitue surtout la différence,

c'est que la roche n'est plus ici porphyroïde ou à grains de dimension irrégulière, elle est, au contraire, à gros grains très-uniformes; en second lieu, c'est que le mica noir et le mica blanc s'y rencontrent en proportions à peu près égales. Près du contact avec le gneiss, on retrouve le granite du type principal, qui semble servir d'intermédiaire.

Les relations des *stockgranit* avec le gneiss sont assez confuses.

D'après M. Peters (*), le grand massif qui est développé entre le sud de la Bohême et les rives du Danube apparaît dans son ensemble comme une gigantesque intercalation. Au sud comme au nord, et même dans les nombreuses enclaves qu'il forme au sein du granite, le gneiss présente toujours des couches d'allure régulière, avec un pendage constamment dirigé vers le nord. Lorsqu'on s'approche de leurs frontières, on voit les deux roches passer l'une à l'autre par des transitions insensibles, par des modifications graduelles de la texture.

Les massifs qui suivent le Böhmerwald se trouvent, selon M. de Hochstetter (**), dans des conditions analogues. On n'y observe aucun recoupement, aucune dislocation du gneiss par le granite.

Au contraire, M. Gümbel, qui a étudié le prolongement des mêmes formations sur le territoire bavarois, a vu dans leur mode de gisement les preuves certaines d'une origine éruptive.

Parmi les massifs de l'intérieur de la Bohême et de la Moravie, quelques-uns ont aussi été signalés comme re-

---

(*) *Die krystallinische Schiefer und Massengesteine in nordwestlichen Theile von Oberösterreich*, Dr Peters (*Jahrb. der k. k. g. Reichsanstalt*, 1853).

(**) *Geognostische Studien aus dem Böhmerwald. — III. Granit und Granitporphyr.* — Ferd. v. Hochstetter (*Jahrb. der k. k. g. R.*, 1855).

coupant le gneiss, par exemple ceux qui se trouvent à l'ouest de Deutschbrod et à l'ouest d'Iglau (*). A la vérité, dans ces deux régions, le granite ne se rapporte pas au type principal, mais bien à des variétés analogues à celles du Plöckelstein.

Il n'est guère douteux, cependant, que les conclusions de M. Gümbel ne soient entièrement générales. Toutes les roches du groupe des *stockgranit* doivent être regardées comme éruptives et probablement du même âge.

Quant à l'époque de leur apparition, elle ne peut donner lieu qu'à des hypothèses très-incertaines. Dans les massifs situés à l'intérieur de la Bohême sont enclavées, il est vrai, de nombreuses parties de schistes argileux anciens qui semblent être des lambeaux d'une formation antérieure au granite et disloquée par lui; mais, pour les terrains siluriens qui sont contigus aux mêmes massifs, je ne crois pas que leurs rapports avec le granite soient encore bien connus.

2° *Granites postérieurs.* — Aussi bien les grands massifs de granite ancien que le gneiss et tous ses subordonnés, sont traversés par des granites relativement récents.

Ceux-ci se trouvent en abondance dans la région de Krumau et de Schwarzbach. Souvent ils apparaissent en lits intercalés dans les gneiss ou dans les leptynites, mais souvent aussi on les rencontre en filons nets : c'est le cas, par exemple, au nord-ouest de Krumau, près de Turkowitz, où ils ont occasionné, dans les couches qu'ils traversent, des plissements assez visibles.

Ces granites sont très-variables pour la grosseur du grain et surtout pour la composition minéralogique. Avec le feldspath et le quartz s'y trouve parfois du mica noir, mais bien plus souvent du mica blanc. Le grenat n'y est

---

(*) Voir à ce sujet : *Geologische Uebersichtskarte der Oest-ung. Monarchie* (Franz Ritter von Hauer), *Blatt I und II. — Böhmen.*

pas rare; mais c'est surtout la tourmaline qui joue dans ces roches un rôle important : elle peut s'y développer en cristaux de plusieurs centimètres; sa présence exclut, d'ailleurs, toujours celle du mica noir.

A côté des gîtes de graphite qui sont exploités à Schwarzbach et à Mugrau s'observent fréquemment des granites à grain fin, d'habitude riches en tourmaline. Leurs affleurements se manifestent en général par une surélévation du sol; cela provient sans doute de ce que ces granites ont opposé aux érosions une résistance plus grande que celle du gneiss encaissant. Autant qu'on peut connaître leur mode de gisement, ils semblent former des lits intercalés suivant la stratification; mais leur apparence est tout à fait celle de véritables granulites éruptives. En réalité, ils doivent constituer des filons injectés entre les feuillets du gneiss.

Calcaire cristallin. — Nous avons déjà vu que le calcaire cristallin accompagne souvent les intercalations amphiboliques; il se dispose, comme elles, en lits parallèles à la stratification générale.

Au nord de Krumau, les calcaires sont très-abondants à l'intérieur de la large bande amphibolique dont j'ai indiqué précédemment la situation; on les rencontre même jusqu'auprès des leptynites. A l'ouest de la ville, on en trouve encore beaucoup dans le gneiss.

Une autre série de gîtes calcaires forme, au sud de Schwarzbach, une ligne presque continue; on peut y rattacher ceux de Hüttenhof, tout à côté du massif granitique du Plöckelstein.

Le calcaire est nettement cristallin; mais la grosseur des lamelles varie entre d'assez larges limites. Il est rare que la couleur soit tout à fait blanche; d'habitude, elle est grisâtre. En certains cas, la teinte grise, surtout quand elle tourne au vert, paraît due à de l'amphibole, dont on constate des cristaux disséminés; mais, souvent aussi, elle

provient d'imprégnations bitumineuses; le calcaire est alors odorant sous le choc du marteau. Plus fréquemment encore, on doit attribuer la coloration à la présence du graphite, facilement reconnaissable à la forme et à l'éclat des plus grosses de ses lamelles.

Il est habituel, spécialement dans les calcaires à grain fin, de voir se dessiner un rubannement très-net par des zones grises et blanches alternées. Ces zones sont orientées dans le même sens que les plans de division parallèles que présente constamment la roche.

En outre du graphite et de l'amphibole, on trouve dans le calcaire, comme substances accessoires : de la pyrite très-fréquente, du mica noir, du mica blanc, du diallage, du feldspath et même des grains de quartz, surtout dans le voisinage du gneiss; enfin du talc et de l'asbeste comme remplissage de fissures.

Assez souvent, le calcaire est intimement mélangé de serpentine injectée en veinules irrégulières dans toute la masse (ophicalcite). Près de Krumau, M. de Hochstetter a cru reconnaître, dans une association de ce genre, l'*Eozoon canadense*. M. Gümbel a retrouvé en Bavière les mêmes apparences d'organismes, dans des calcaires tout à fait identiques à ceux de Bohême.

D'après M. Helmhacker (*), on aurait souvent employé à tort la dénomination de calcaire cristallin; dans un grand nombre des gîtes ainsi qualifiés, la teneur en magnésie est considérable, et le terme à adopter serait celui de dolomie. M. de Hochstetter, dans des échantillons provenant d'un gîte situé tout à côté des leptynites, a dosé 32 p. 100 de magnésie.

Une carrière, ouverte à Krumau sur le flanc d'un escarpement abrupt, fournit la coupe d'un puissant gîte calcaire. Cette coupe a donné lieu à des observations intéressantes,

(*) *Loc. cit.*

faites par M. de Hochstetter, qui indiquent bien nettement la postériorité du calcaire par rapport aux intercalations amphiboliques. On trouve, en effet, des fragments anguleux de ces roches amphiboliques empâtés dans la masse; ils se disposent en traînées suivant la direction générale des rubannements du calcaire, qui s'infléchissent autour de chaque fragment.

M. Peters a observé à Habichau, au sud-ouest de Schwarzbach, des circonstances analogues. Le toit et le mur du calcaire y sont formés par du gneiss amphibolique dont deux couches s'intercalent en outre au milieu du gîte. Au voisinage des contacts, le calcaire devient quartzeux et impur; et, en même temps, il renferme des éclats de gneiss, à contours très-irréguliers, qui sont enveloppés par les zones de rubannement. Ces zones accusent même de petits rejets, produits par des fissures divergentes qui partent de la périphérie des fragments empâtés.

Les observations qui précèdent nous paraissent établir avec certitude que le calcaire cristallin est d'origine éruptive. Son association avec la serpentine, association qui est d'ailleurs, on le sait, un phenomène très-commun et, pour ainsi dire, universel, nous semble en outre indiquer que les deux roches sont à fort peu près du même âge. Elles se sont, toutes deux, injectées de préférence au contact, ou même au sein des intercalations amphiboliques. Si l'on admet que ces dernières aussi sont éruptives, de pareilles juxtapositions pourraient aisément s'expliquer par la réouverture des mêmes fentes.

On rencontre souvent des filons de granite ou de diorite postérieurs au calcaire; on en voit en particulier à Krumau, dans la coupe mentionnée tout à l'heure. Dans presque toutes les carrières ouvertes sur les gîtes qui sont au sud de Schwarzbach, et sur celui de Hüttenhof, apparaissent de même des filons de diorite qui modifient quelquefois à leur contact la grosseur de grain du calcaire. Le gîte de Hüt-

tenhof présente en outre un intérêt spécial, parce que, à côté du calcaire, s'y trouve un granite à tourmaline qui est, pour la majeure partie, intercalé suivant la stratification, mais qui envoie cependant des veines à travers le calcaire et la roche gneissique encaissante.

Graphite. — Le graphite se rencontre toujours en amas couchés suivant la stratification. On peut poser comme une règle générale que sa présence est étroitement liée à celle du calcaire cristallin. Celui-ci apparaît tantôt au mur, tantôt au toit, comme à Schwarzbach, ou même à la fois au toit et au mur, comme à Krumau et à Tattern.

Il peut certainement arriver que le graphite s'étende au delà des limites des intercalations calcaires et se trouve encaissé uniquement dans le gneiss ; mais sa relation avec le calcaire n'en est pas moins incontestable.

Une particularité qui frappe tout d'abord, c'est la rapidité avec laquelle apparaissent et disparaissent les amas graphiteux. En suivant l'un d'eux en direction, on peut le voir passer subitement d'une puissance de quelques centimètres à celle de 10 ou 20 mètres, puis, un peu plus loin, se rétrécir tout à coup ou même s'évanouir complétement. Si l'on veut alors continuer les explorations, il y a avantage à se maintenir dans la même couche de gneiss. Il est reconnu, en effet, que certaines couches sont particulièrement riches en intercalations de calcaire cristallin ou en amas de graphite. En d'autres termes, tous les affleurements de calcaire cristallin ou de graphite constatés dans la région se groupent sur un petit nombre de lignes courbes quasi-parallèles qu'on tracerait en suivant pas à pas, sur le terrain, la direction du gneiss. Nous savons déjà que ces lignes devront présenter quelques ondulations, relatives au passage de la direction nord-est, qui s'observe à l'intérieur de la Bohême, à la direction nord-ouest, qui règne le long du Böhmerwald. M. de Hochstetter a jalonné 10 lignes successives, qui ne sont pas toutes, à beaucoup près, d'é-

gale importance ; deux ou trois seulement se signalent par l'abondance du graphite. Je vais cependant reproduire ici l'énumération complète, parce qu'elle aura l'avantage de faire connaître les détails d'allure du gneiss, en même temps que les points où la présence du calcaire ou du graphite a été observée. Les directions sont indiquées en heures, comptées suivant la convention ordinaire, du nord (heure 0), au sud (heure 12), en passant par l'est (heure 6).

On trouve, en allant du sud vers le nord :

1re ligne.) Quelques apparitions de graphite près de Mühlnöth et de Platten. La direction y est : heure 3 à 4 avec pendage N.-O.

2°) Graphite à Eggetschlag (h. 3, p. N.-O.); graphite et calcaire à Planless (h. 3 à 4, p. N.-O.).

3°) La 3e ligne relie les gîtes de calcaire suivants : Hüttenhof (h. 8 à 9, p. N.-E.); Habichau (h. 3, p. 50 à 60° N.-O.); Schlackern (h. 3 à 4, p. 60° N.-O.); Mutzkern (h. 8, p. 45° N.-O.).

On peut considérer comme marquant le prolongement de cette ligne, sur la rive droite de la Moldau, quelques points où se montre le graphite, depuis Schömern (h. 2, p. O.), en passant par Priethal (h. 11, p. O.), jusqu'à Zahradka (h. 1, p. 30° O.). Plus loin, le gneiss, au N.-O. de Welleschin, affecte la direction h. 5, avec pendage 40 à 60° N.

4°) La 4e ligne est la principale pour le graphite. Elle commence entre Schwarzbach, Stuben et Rindles, où sont les mines exploitées par le prince de Schwarzenberg; la direction y est h. 3 à 4, avec p. 45° N.-O.; un peu plus loin se trouvent les gîtes de Mugrau, qui ont une importance à peu près égale aux précédents; en ce point la ligne s'infléchit, elle passe à la direction h. 8, qu'elle conserve jusqu'à Kirschschlag, en comprenant dans l'intervalle une foule de petits gîtes qui, pour la plupart, ont été anciennement exploités, à Reichenschlag, Zichlern, Hossenschlag,

Klein-Uretschlag, Reith. Au delà de Kirchschlag, on retrouve la direction h. 3 à 4, avec p. N.-O, qui réunit le gîte calcaire de Passern avec un peu de graphite de Passern à Weisslowitz. Plus loin, jusqu'à la Moldau, on a la direction h. 6 avec p. N., sur laquelle sont situés les graphites de Podersdorf et Hoschlowitz. Sur la rive droite, la ligne se prolonge dans la direction h. o à 2, avec p. O., et elle rencontre du graphite à Pohlen, Kabschowitz et Unter-Brei-lenstein; en ce dernier point, elle s'infléchit déjà beaucoup plus vers l'est.

5°) On trouve sur la 5e ligne, qui est très-voisine de la précédente et en reproduit toutes les inflexions : du calcaire et du graphite à Tattern (h. 7 à 8, p. N.-E.); du graphite à Klein-Drossen; du calcaire à Mödling. De l'autre côté de la Moldau, on a la direction h. 1, avec p. O.; enfin, les gneiss, à l'est de Krumau, sont orientés h. 2 à 3, avec p. N.-O.

6°) La 6e ligne passe à Horitz (h. 4 à 6, p. 30 à 40° N.-O.): on y rencontre d'abord deux petits gîtes de graphite à Schönbesdorf et Hafnern; puis du calcaire près de Lagau (h. 10, p. 20° S.-O.). L'inflexion des 4e et 5e lignes se répète ici plus accentuée. A Wettern et à Neuchin apparaît un peu de graphite; plus loin, près de Krumau, se trouve un gîte important, actuellement exploité, avec la direction h. 3, p. N.-O. Au delà de Krumau, la ligne se maintient constamment dans cette même direction; un peu de graphite s'y montre avec du calcaire à Dumrowitz, et au delà les calcaires se succèdent presque sans interruption jusqu'à Payreschau, où le terrain tertiaire vient tout recouvrir. On peut remarquer que le même alignement prolongé passerait par le petit bassin anthracifère, au N.-E. de Budweis.

7°) On peut réunir sur une 7e ligne les calcaires de Turkowitz (h. o à 1, p. 30 à 40° O.), ceux de Neuhof et une partie de ceux de Srnin et Goldenkron.

8°) La 8e ligne passe à l'intérieur de la bordure amphi-

olique qui est au sud de la formation des leptynites du Plankerwald. Tout à l'ouest, à Ottetstift, on a d'abord la direction h. 11, avec p. 30 à 40° O.; à Stein, on rencontre quelques calcaires, puis d'autres à Kalsching (h. 4 à 5, p. 15° N.). A Krenau, les roches amphiboliques sont orientées h. 7 à 8, avec p. 30 à 40° O. A Weichseln, où l'on y retrouve des intercalations calcaires, la direction est h. 5 avec p. 40° N.

9°) La 9e ligne est extrêmement voisine de la frontière des leptynites, depuis Kalsching jusqu'à Srnin. On y observe des calcaires à Losniitz (h. 7, p. 70° N.), et à Weixeln (h. 5 à 6, p. 40° N.). A partir de Presnitz, la direction se maintient h. 4 à 5, avec p. 45° N.-O.

10°) Les gneiss sont orientés à Maidstein h. 0, à Pratsch, on a déjà h. 2 à 3, et lorsque apparaît le tertiaire, on arrive à la direction h. 6.

On peut remarquer que les 4e, 5e et 6e lignes se rapprochent beaucoup aux environs de Schwarzbach, et, de fait, il existe dans cette région plusieurs gîtes de graphite parallèles, éloignés seulement de quelques centaines de mètres, mais de richesses très-inégales, du moins pour leurs parties déjà explorées. L'exploitation porte là, non plus sur un gîte isolé, mais sur tout un ensemble multiple (*lagercomplex*).

Arrivons maintenant à l'étude des circonstances de détail que présentent les gîtes de graphite. Ce que j'en dirai se rapportera spécialement aux gîtes exploités, c'est-à-dire à ceux de Krumau, de Schwarzbach et de Mugrau, et surtout à ces deux derniers qui, exploités depuis plus longtemps, sont par suite mieux connus.

Le gneiss encaissant est fréquemment amphibolique, et quelquefois il est en outre sillonné de petits filets calcaires. On a remarqué qu'au voisinage des parties riches, à mesure que l'imprégnation graphiteuse augmente, le mica tend à disparaître et arrive même à faire tout à fait défaut.

L'importance de cette observation résultera de la compa raison que je ferai plus loin avec les gîtes de Bavière.

Les intercalations de calcaire, qui sont si communes au contact du graphite, ont une puissance très-variable, depuis quelques décimètres jusqu'à 20 ou 30 mètres. Dans la région la plus rapprochée du gîte, le calcaire, déjà assez impur, perd presque entièrement sa texture cristalline; il y devient « sauvage » (wild), suivant l'expression consacrée.

Au milieu des amas s'intercalent très-souvent des nerfs gneissiques, dont l'épaisseur peut être seulement de quelques centimètres, mais atteint aussi plusieurs mètres. Jusqu'aujourd'hui, pour les divers gîtes exploités, l'épaisseur des nerfs a paru croissante en profondeur; mais la puissance du graphite augmente dans une proportion au moins aussi rapide.

Une circonstance bien connue par les exploitants, c'est que, quelle que soit la nature du toit, gneiss ou calcaire, on y rencontre, à peu de distance du graphite, une imprégnation ferrugineuse très-apparente sur 10 ou 20 centimètres. C'est là une observation fort commode en pratique : elle sert, par exemple, à distinguer si, en poussant une taille transversale de dépilage, on est réellement arrivé au toit du gîte, ou si on a seulement affaire à un nerf au delà duquel on retrouverait le graphite. Lorsqu'on constate l'imprégnation ferrugineuse, on juge inutile d'aller plus loin.

Il faut admettre comme un fait entièrement général, et nous verrons bientôt comment on peut l'expliquer, que la présence du graphite dans le gneiss coïncide toujours avec une grande perméabilité de la roche, et par suite avec des facilités toutes spéciales offertes à l'infiltration des eaux de la surface. Partout, en effet, on observe une décomposition complète jusqu'à une certaine profondeur; le gneiss s'est transformé en une masse brune, émiettée, marquée de grains blanchâtres, qui proviennent évidemment des cristaux de feldspath.

On doit rattacher à la même circonstance le creusement les petites dénivellations qui indiquent parfois, à la surface, les affleurements du graphite.

Le graphite se présente tantôt en grands feuillets, tantôt en masse finement écailleuse ; il conserve presque toujours une apparence schisteuse. Il n'est jamais entièrement pur, et, la plupart du temps, on n'exploite en réalité qu'une masse plus ou moins imprégnée de graphite. Diverses substances étrangères sont disséminées à l'état de mélange très-intime ; on peut reconnaître quelquefois de l'amphibole ou du grenat, mais ce sont surtout des matières décomposées et argileuses. La pyrite est extrêmement abondante, autant dans le graphite que dans le calcaire voisin, elle communique aux produits argileux d'altération une couleur ocreuse, et les eaux recueillies dans les mines sont vitrioliques.

Dans les parties où la décomposition n'est pas trop avancée, on distingue souvent des éclats de gneiss enveloppés par le graphite. Çà et là se rencontre aussi du quartz, en masses lenticulaires assez considérables, orientées dans le sens de la stratification, d'ailleurs très-fendillées et disloquées en petits fragments anguleux.

Du kaolin a été observé à Schwarzbach en quantité notable et avec des circonstances qui méritent une attention particulière. Il forme tantôt des amas peu puissants, rencontrés surtout au mur du gîte principal, tantôt des veines irrégulières traversant le graphite. Les nerfs en contiennent fréquemment. Il est de couleur blanche, brunâtre, ou verdâtre ; on en a trouvé d'assez pur pour qu'on ait pensé autrefois à l'exploiter et à le vendre à des fabriques de porcelaine. On ne peut songer à le regarder comme résultant simplement de la décomposition du gneiss; au contraire, il aurait été fourni, d'après M. Gümbel, par des filons d'une roche syénitique spéciale, à grands éléments. C'est en Bavière que cette roche et son mode de transformation ont été observés ; mais le *porzellanspath*,

qui y apparaît comme la substance mère du kaolin, retrouve assez abondamment à Schwarzbach.

On distingue dans chaque gîte des régions de graph *mou* (*weich*), et des régions de graphite *dur* (*hart*). L premières sont celles qui, par suite de la décomposition d matières mélangées au graphite, ne possèdent plus qu'u cohésion extrêmement faible; les secondes, au contrair ont gardé, plus ou moins, leur consistance normale. O doit prévoir, et c'est en effet ce qui a déjà été recon à Kruman, que la proportion de graphite dur deviendra en profondeur, de plus en plus considérable. Bien que l même fait n'ait pas encore été constaté à Schwarzbach, o ne peut guère douter qu'il ne s'y manifeste un jour. Le travaux sont cependant déjà à 60 mètres du sol, mais i n'est pas surprenant que l'action des eaux de la surface ait été poussée plus loin dans cette mine que dans toutes le autres, car elle est située sous des tourbières.

Les parties les plus pures ont toujours été rencontrées dans le graphite mou; mais elles ne se trouvent pas dans le voisinage du sol, et on le comprend sans peine, car le eaux, en traversant le gîte, doivent commencer par s'| débarrasser des matières sableuses et argileuses qu'elles tiennent en suspension.

J'ai maintenant terminé tout ce que j'avais à dire pour la description particulière des gîtes de la Bohême méri- dionale; je vais passer rapidement en revue, à titre de comparaison, quelques-uns de ceux qui appartiennent, en Autriche et en Bavière, au même ensemble de formations cristallines.

Bohême. — Le gîte de *Swojanow*, sur la frontière entre la Bohême et la Moravie, va nous offrir une circonstance nouvelle. D'après une description donnée par M. Lipold (*),

(*) *Die Graphitlager nächst Swojanow in Böhmen* (*Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt*, 1863).

le graphite s'y trouve en effet en relation, non plus avec le gneiss, mais avec les schistes argileux anciens (*thonschiefer*).

Près de Swojanow existe une série de formations schisteuses affectant en gros une disposition elliptique, autour d'un mamelon central. Les couches plongent vers l'extérieur; elles présentent des alternances multiples de gneiss gris, de micaschistes, de schistes amphiboliques, de schistes argileux, et de calcaire cristallin. Les schistes argileux dominent vers le centre et les gneiss gris vers le contour de l'ellipse. Les schistes amphiboliques sont notablement pyriteux; ils sont en outre grenatifères, ainsi que les micaschistes. Des serpentines et des schistes talqueux les accompagnent souvent.

A peu de distance, le gneiss renferme une petite formation de leptynites.

Le graphite se trouve au sud de Swojanow, au contact des schistes argileux avec le calcaire cristallin qui s'y intercale. Outre les imprégnations dans les schistes, il constitue quelques petits amas lenticulaires. Son apparition coïncide toujours avec une grande abondance de pyrite dans les schistes et dans le calcaire. Le graphite, mou près de la surface, devient solide en profondeur.

Moravie. — Les gisements de Moravie sont contenus dans le gneiss. Autant que je puis en juger, d'après les renseignements très-sommaires que je possède à leur égard, ils ressemblent beaucoup à ceux de la Bohême méridionale. Néanmoins il n'y aurait pas toujours identité absolue: d'après M. Dionys Stur (*), le graphite de Pistau, au S.-O. d'Iglau, se présente bien en amas intercalés dans le gneiss; mais les roches amphiboliques, les serpentines, et même les calcaires cristallins manquent complétement dans son voisinage.

(*) *Verhandlungen der k. k. geolog. Reichsanstalt*, 1872.

Basse-Autriche. — Un article de M. Vergani, dans l'*Oesterreichische Zeitschrift* (*) de 1875, fournit des renseignements sur les gîtes situés près de Mühldorf, au nord-ouest de la petite ville de Spitz, sur le Danube.

Le gneiss qui est développé dans cette région se rattache bien nettement à la formation hercynienne. Les intercalations amphiboliques y sont extrêmement nombreuses. La direction dominante est N.-E., avec pendage S.-E. Le graphite était déjà connu et exploité non loin de Mülhdorf dès 1827. Les travaux avaient été abandonnés en 1855: mais depuis de nouvelles recherches démontrèrent l'existence d'un gîte très-important, orienté dans la direction de huit ou neuf heures, avec un pendage de 70 à 80°: Il se prolonge sur environ 4 kilomètres, et sa puissance arrive à dépasser 20 mètres. Le mur est constitué par du gneiss; il s'y trouve quelques petites masses de kaolin. Le toit est du calcaire cristallin, rendu grisâtre par les imprégnations graphiteuses. A proximité de ce toit, le graphite passe à des argiles ocreuses, contenant des parties d'hématite brune.

Il serait, je crois, entièrement inutile d'insister pour faire voir combien ces conditions de gisement sont semblables à celles qui ont été indiquées pour la Bohême méridionale. Mais ce qu'il est intéressant de remarquer, c'est que l'analogie devient aussi complète que possible lorsqu'on fait entrer dans la comparaison non plus seulement les amas de graphite, mais aussi la contrée environnante. En effet, à peu de distance de Mühldorf, bien que sur l'autre rive du Danube, on trouve, entre Mäutern et S. Polten, une formation comprenant des leptynites, des roches amphiboliques et des serpentines, et tout à fait identique, comme disposition, à celles dont nous avons

(*) *Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen.*

parlé précédemment. Le graphite reparait d'ailleurs dans le voisinage immédiat de cette formation (*).

Bavière (**). — Les gîtes les plus importants sont aux environs de Passau. Ici encore nous allons retrouver presque identiquement les mêmes circonstances qu'à Krumau ou qu'à Schwarzbach.

Ce sont d'abord, dans le gneiss, les mêmes intercalations de roches amphiboliques, de serpentines et surtout de calcaires auxquelles le graphite est intimement lié. C'est encore, pour les amas de graphite, une disposition tout à fait semblable jusque dans ses moindres détails.

L'association du kaolin au graphite se répète aussi, mais beaucoup plus développée; on recherche souvent à la fois les deux substances; et d'ailleurs, le kaolin forme dans la contrée un grand nombre de gîtes où il est seul exploité.

Il s'en faut de beaucoup qu'on atteigne pour le graphite, en Bavière, d'aussi bonnes qualités qu'en Bohême. L'abatage se pratique uniquement dans les parties de graphite mou; le graphite dur est toujours regardé comme inutilisable.

Les deux principaux gîtes exploités sont celui de Haar et celui de Pfaffenreuth.

Au point de vue purement géologique, un fait a été particulièrement bien constaté en Bavière, c'est la disparition du mica noir correspondant dans le gneiss à la présence du graphite. Au voisinage des affleurements, on observe déjà que le gneiss décomposé manque de mica; mais en profondeur, on atteint une roche solide où le graphite occupe bien visiblement la place de ce minéral; c'est le gneiss à graphite (*graphitgneiss*).

(*) Voir à ce sujet : *Geologische Zusammensetzung der Berge bei Mölk, Mäutern, und St-Pölten in Niederösterreich*, par Johann Czjzek (*Jahrb. der k. k. g. Reichsanstalt*, 1853).

(**) Toutes les indications relatives à la Bavière sont empruntées à l'ouvrage déjà cité de M. Gümbel.

Le même fait se reproduit, avec des circonstances qui le rendent peut-être encore plus net, dans la région de Bodenmais. Là se trouve développée une roche remarquable, dont le gneiss qui contient les gîtes de graphite, près de Passau, se rapproche d'ailleurs beaucoup ; c'est le gneiss à cordierite (*dichroïtgneiss*). Il renferme, avec le feldspath et le quartz, du mica noir, très-peu de mica blanc, de la cordierite, et quelquefois de la tourmaline. Certaines variétés sont en outre grenatifères. Dans ce gneiss, le graphite apparaît encore remplaçant le mica noir, et l'on peut se convaincre qu'il entre tout à fait de la même façon que lui dans l'association des éléments. En effet, lorsqu'il existe du grenat, on voit souvent dans la roche normale, non graphiteuse, les lamelles de mica se concentrer près de chacune des parties de grenat, et même former autour d'elle, à l'exclusion de toute autre substance, une zone plus ou moins étendue ; quand le graphite vient à se montrer, ses paillettes prennent absolument la même disposition.

Pour terminer ce qui est relatif à la Bavière, je mentionnerai le gîte de Wunsiedel (Fichtelgebirge), qui est encaissé dans du calcaire cristallin.

Résumé et conclusions.

Nous devons maintenant chercher à obtenir, comme conséquences des descriptions qui précèdent, quelques notions sur l'origine probable du graphite dans les formations antésiluriennes.

La principale question qui s'impose à notre examen est celle-ci : le graphite existait-il déjà dans le gneiss au moment où s'est constituée la roche ? ou bien, au contraire, s'y est-il introduit postérieurement ? Nous verrons bientôt que, de ces deux hypothèses, c'est la seconde qui s'accorde le mieux avec les faits observés.

Il faut cependant remarquer, tout d'abord, que les couches à graphite paraissent propres à un certain niveau de la formation gneissique; en Bohême comme en Bavière nous les rencontrons, en effet, parmi les termes supérieurs de la série, près du passage aux leptynites.

Il est certain que si une pareille égalité de situation était bien démontrée, elle serait favorable à l'hypothèse du graphite originaire dans le gneiss. Mais l'hypothèse inverse, que nous adopterons et que nous allons maintenant soutenir, s'appuie sur des faits qui nous semblent beaucoup mieux établis. Ces faits sont relatifs : 1° à la façon dont le graphite apparaît dans le gneiss; 2° aux roches qui l'accompagnent habituellement.

I. — Nous avons vu, en Bohême et en Bavière, que la présence du graphite dans le gneiss y correspond toujours à deux circonstances principales : d'une part, l'élimination du mica noir; d'autre part, une décomposition très-facile de la roche par les eaux de la surface. Ce ne sont d'ailleurs pas là des faits spéciaux aux régions que nous avons étudiées; ils paraissent être, au contraire, de règle générale. On les a, par exemple, très-bien observés dans les Vosges (*).

Le graphite occupe dans le gneiss, rappelons-le, la place exacte du mica. Ce sera le premier argument que nous invoquerons en faveur de son origine éruptive. Il nous semble, en effet, que la manière la plus simple d'expliquer l'identité de position des deux minéraux, c'est de concevoir que le graphite est venu se substituer au mica dans la roche déjà formée, ou, en d'autres termes, que des émanations, en traversant le gneiss, y ont à la fois introduit le graphite et fait disparaître le mica. C'est ce que viennent confirmer, d'une façon qui ne laisse guère place au doute,

(*) Voir *Explication de la carte géologique de la France : les Vosges*, par E. de Beaumont, pages 310 et 314.

des exemples observés par M. Gümbel (*), où l'on voit le graphite et le mica se succéder l'un à l'autre dans les même paillettes, comme si la transformation, déjà commencée, avait été subitement interrompue (**).

La facilité avec laquelle s'effectue la décomposition du gneiss à graphite apporte immédiatement à notre hypothèse une vérification nouvelle. Si nous avions considéré le graphite comme originaire dans le gneiss, ne *nous* paraîtrait-il pas surprenant que la présence d'un minéral inaltérable par lui-même eût entraîné le changement que nous constatons dans les propriétés de la roche? Il nous sera, au contraire, bien aisé d'admettre que les actions chimiques qui ont enlevé le mica ont pu préparer la désagrégation des autres éléments et en particulier du feldspath; l'infiltration des eaux de la surface et par suite la destruction progressive du gneiss se trouvaient dès lors singulièrement favorisées.

II. — Voyons maintenant à quelles conclusions doit nous amener l'étude des roches qui accompagnent le graphite. Parmi ces roches, la plus constante, et celle aussi qui va nous fournir les indications les plus précises, c'est le calcaire cristallin. Tout porte à croire que le calcaire cristallin et le graphite sont du même âge; leur liaison intime, que nous avons eu souvent occasion de signaler, les paillettes de graphite qui imprègnent le calcaire et qui même y dessinent des zones de rubannement, ne permettent guère d'en douter. En tout cas, le calcaire ne peut être postérieur au graphite. Or, d'après les observations

(*) Ouvrage cité, page 355.

(**) Il ne faut pas croire cependant que la substitution se soit faite molécule par molécule, car le graphite a pu prendre ses propres formes cristallines. Ces formes sont, on le sait, notablement différentes de celles du mica; l'analogie que semble indiquer, à première vue, le contour hexagonal commun aux deux substances ne tarde pas à disparaître sous un examen un peu plus approfondi.

ue nous avons empruntées à MM. de Hochstetter et Peters, . propos des gîtes de Krumau et de Habichau, le calcaire est bien certainement d'origine éruptive ; la même conclusion doit donc être admise pour le graphite.

Les serpentines qui sont intercalées dans la série gneissique de la Bohême méridionale semblent d'ailleurs, ainsi que nous l'avons remarqué, à très-peu près contemporaines, elles aussi, du calcaire cristallin. Pour nous, l'apparition de ces trois termes : calcaire, serpentine, graphite se rattache à un même ensemble de phénomènes, à un même groupe d'éruptions et d'émanations.

Il serait difficile de dire, d'une façon un peu précise, à quelle époque géologique on doit les rapporter. Pourtant, les circonstances observées à Swojanow indiqueraient qu'ils sont postérieurs, peut-être de fort peu, au dépôt des schistes argileux anciens (époque cambrienne).

La corrélation entre le graphite et le calcaire cristallin a été universellement signalée. En laissant de côté les exemples que j'en ai déjà cités, on la rencontre dans une grande partie des gîtes de graphite les plus importants. D'après le Manuel de minéralogie de M. Des Cloizeaux, le graphite se trouve, en effet, compris dans le calcaire cristallin : en Finlande, — à Amity (état de New-York) où il est associé à du spinelle, à de la brucite et à de l'amphibole, — à Greenville (Canada supérieur), avec sphène et wollastonite, — à Attleboro (Pensylvanie), avec wollastonite, pyroxène et scapolite, — au Brésil, dans la province de Minas-Geraes.

Il semble d'ailleurs que, partout où existe une intercalation de calcaire cristallin dans le gneiss, le graphite se trouve aussi représenté, car on l'y signale constamment, à l'état de paillettes hexagonales disséminées dans la masse.

Une relation immédiate entre le graphite et la serpentine n'est certainement pas aussi fréquente. Pourtant, à

Schwarzbach, au mur du gîte principal, on a constaté, dans le calcaire, de nombreux filets serpentineux. Le gîte de Pinheiro, en Portugal, sur lequel les renseignements me font malheureusement défaut, paraît fournir un exemple beaucoup plus remarquable, car, d'après M. Des Cloizeaux, le graphite s'y rencontre dans la serpentine. Je citerai enfin la même association observée aux Brières, dans le Morvan, par M. Michel Lévy; le graphite y est contenu dans un gneiss où il remplace partiellement le mica; mais tout à côté se trouvent des serpentines, que l'examen au microscope rapproche beaucoup de celles de la Bohême méridionale.

DEUXIÈME PARTIE.

EXPLOITATION.

Le graphite était déjà exploité à la fin du siècle dernier dans le sud de la Bohême, mais seulement au moyen de petites fosses creusées par des paysans et ne donnant lieu qu'à une production insignifiante.

Vers 1830 ou 1840, l'extraction annuelle n'atteignait encore que quelques centaines de tonnes.

Mais à partir de 1850, elle prit un accroissement rapide. Le prince de Schwarzenberg activa l'exploitation sur ses domaines; en même temps, plusieurs sociétés et quelques syndicats de paysans se formèrent, et l'on en vint à compter, dans le cercle de Budweis, jusqu'à 15 concessions distinctes.

Aujourd'hui, cependant, par suite des abandons et des fusions qui ont eu lieu, il n'existe plus que 4 personnes ou groupes exploitants (*), savoir :

(*) Les statistiques officielles de l'exploitation des mines en Au-

1° La Société de Krumau (Krumauer Gewerkschaft) ;

2° Le prince de Schwarzenberg, à Schwarzbach ;

3° La Société Eggert et Cie, à Mugrau ;

4° Le syndicat des paysans de Mugrau (Bauernwerk in Gemeindeholz).

Je vais m'occuper successivement de ces 4 exploitations. Le grand nombre des circonstances qui leur sont communes me permettra d'abréger beaucoup.

1° Krumau.

Krumau se trouve à 10 kilomètres environ de la station Welleschin-Krumau (chemin de fer de Linz à Budweis). De bonnes routes conduisent, soit à cette station, soit directement à Budweis.

On exploite le graphite dans la colline qui est située au S.-O. de la ville. J'ai dit précédemment que la direction du gîte est de 3 heures (N.-O.), avec 45° de pendage N.-E. et que le calcaire s'y rencontre au toit et au mur.

La puissance, réduite à quelques centimètres dans les parties extrêmes, atteint 20 mètres au centre de l'exploitation. Comme valeur moyenne on peut prendre 2 mètres.

La dislocation du gîte produit dans la mine une énorme pression, on a la plus grande difficulté à maintenir les galeries. Les cadres de boisage doivent être très-gros et très-serrés.

Pour la même cause, l'entretien d'eau est assez considérable ; mais comme les travaux sont encore entièrement au-dessus du niveau de la vallée, l'asséchement est très-facile.

Il existe actuellement trois étages, dont la hauteur moyenne est à peu près 12 mètres. On dépile dans l'ordre

---

triche, pour 1874, et pour 1875, mentionnent pourtant encore : la Société de Weichseln (*Weichselner Gesellschaft*) et la Société Adalbertizeche, à Krumau. Mais la production de ces deux groupes est tout à fait insignifiante.

descendant. L'étage supérieur est presque complétement enlevé; on n'y travaille plus.

Je ne parlerai pas ici de la méthode suivie pour le dépilage; je l'expliquerai à propos de Schwarzbach, où elle est appliquée sur une plus grande échelle et d'une façon plus régulière.

Le graphite est toujours jeté par des cheminées dans la voie de fond de l'étage, suivant laquelle on l'emmène au jour.

Jusqu'ici c'est la 2e galerie qui a fait la majeure partie de l'extraction; c'est elle aussi, naturellement, qui a déjà atteint la plus grande longueur. Mais on se propose de concentrer prochainement le roulage sur la 3e galerie et, à cet effet, de la relier à la seconde par un plan incliné intérieur.

Une 4e galerie a été amorcée: elle s'ouvre à peu de distance de la Moldau; mais sa position a été mal choisie pour atteindre le gîte, et il est probable que, lorsqu'on sentira le besoin de tracer un quatrième étage, le tronçon commencé ne sera pas utilisé.

Il existe deux descenderies ouvertes sur le haut de la colline, mais n'atteignant que le premier horizon. Deux puits rectangulaires sont déjà approfondis jusqu'à la cote de la 3e galerie; mais cette galerie ne communique qu'avec l'un d'eux, elle n'est pas encore poussée assez loin pour rencontrer l'autre. Ces deux puits sont boisés fortement. Ils ne servent, d'ailleurs, qu'à la circulation dans la mine et à l'aérage.

Ainsi, l'extraction et l'épuisement se font sans l'intervention d'aucune machine. Sans ces conditions économiques, l'exploitation ne pourrait guère se soutenir contre la concurrence de ses voisines, à cause de la qualité inférieure de ses produits.

Les ouvriers sont au nombre de 100 à 150; en été, on les occupe surtout à la raffinerie. Les uns sont logés dans la ville, les autres sur la hauteur, auprès des orifices des

nuits; la compagnie leur loue des maisons et des champs.

Raffinerie. — L'obligation de soumettre à un lavage la presque totalité de la matière extraite a porté la compagnie de Krumau à soigner tout particulièrement sa raffinerie. Elle en possède effectivement une mieux installée que celles des autres exploitations.

Cette raffinerie est située à l'une des extrémités de la ville, au bord de la Moldau. Elle ne marche guère que l'été, à cause de la nécessité de faire sécher à l'air le graphite lavé.

Les morceaux sont d'abord soumis à un triage à la main. On sépare une petite quantité de graphite assez pur pour qu'il n'y ait pas utilité à le passer au raffinage, et en même temps on rejette les parties trop stériles.

Tout le reste, ainsi que le menu qui forme la plus grande partie de l'assortiment et dans lequel un triage semblable est impossible, est envoyé aux meules de broyage. On a soin seulement de casser d'abord au marteau les fragments un peu gros, quand il s'en trouve encore.

Les six paires de meules roulantes qui effectuent le broyage sont remarquables par leur construction très-soignée. Comme d'habitude, des palettes entraînées dans le mouvement de rotation servent à ramener sans cesse les matières qui tendraient à s'accumuler sur la circonférence de l'aire ou vers son centre. En outre, un dispositif, qu'il me paraît inutile de décrire, permet d'obtenir, lorsqu'on juge le broyage suffisant, l'expulsion très-rapide de la charge par l'appareil lui-même.

Le produit broyé tombe sur le sol; on le jette à la pelle dans une caisse d'où une chaîne à godets l'élève à un étage supérieur. Là on le fait passer dans des canaux en bois qui s'ouvrent dans le plancher de l'étage et qui aboutissent respectivement à six cuves de délayage. Pour mesurer la charge qu'on introduit dans une cuve, chaque canal est muni de deux registres dont le jeu alternatif fait tomber à chaque fois une quantité connue.

Une cuve traite à la fois 50 kilog. de matière. On y ajoute de l'eau, et le mélange est effectué au moyen d'un arbre central muni de palettes. L'opération dure une demi heure. On fait écouler la lavure par le bas de la cuve; il ne reste au fond qu'un peu de matière sableuse à rejeter.

La lavure est envoyée dans une série de caisses de dépôt accolées. Il y a passage d'une caisse à la suivante par une ouverture en déversoir, et, pour chaque caisse, les ouvertures d'entrée et de sortie sont à ses extrémités opposées.

Tout d'abord, le canal qui amène la lavure se divise pour l'envoyer dans deux groupes de deux petites caisses marquées sur la *fig.* 2, Pl. IV, des signes 1 et 2, I et II.

De là les eaux passent dans la première des grandes caisses de dépôt, de celle-là dans la seconde, et ainsi de suite jusqu'à la huitième et dernière.

L'utilité de (1) et (2), (I) et (II), c'est de faire déposer, avant tout, une certaine quantité de matières sableuses qu'on y recueille mélangées de très-peu de graphite. Dans les premières des grandes caisses, les dépôts sont encore un peu sableux, mais de moins en moins. La qualité arrive au maximum dans les caisses (7), (8) et (9). Au delà de (10), le dépôt serait de plus en plus lent, et l'argile, qui commence déjà à s'y mélanger, augmenterait rapidement en proportion.

Voici, du reste, le détail du classement. On distingue pour la vente quatre sortes :

La première ou *prima* est marquée. . . .	JB
La deuxième.	GKI
La troisième.	GKII
La quatrième.	O

Elles sont comprises sous le nom général de *raffinade*. O se recueille dans les caisses (1) et (2), (I) et (II) (et sans doute aussi, comme on le fait ailleurs, en laissant séjourner dans de grands bassins les eaux qui sortent des

appareils), GKII se trouve dans la caisse (3), GKI dans (4) et (5), JB dans (6), (7), (8), (9) et (10).

Deux appareils tels que celui que je viens de décrire sont nécessaires, chacun d'eux servant pendant qu'on enlève à la pelle les dépôts obtenus dans l'autre et qu'on les jette dans des bassins rangés suivant l'axe de symétrie de l'ensemble. On a soin de ne pas mélanger les diverses sortes; mais, au contraire, tous les dépôts qu'on veut réunir dans une même sorte sont jetés dans le même bassin; on les y brasse aussi complétement que possible, pour uniformiser la qualité.

Ensuite on laisse reposer. Une petite couche d'eau se sépare bientôt en dessus; on la fait écouler, et l'on abandonne au séchage à l'air jusqu'à ce que, par l'effet de la contraction, de grandes fissures se produisent au sein du « *brai de graphite* ». Alors on l'enlève et on le place, divisé en petits morceaux, sur les wagons de séchage. Ce sont de grands plateaux portés sur des roulettes; chacun d'eux se déplace sur une voie spéciale; les voies de trois ou quatre wagons sont superposées, de façon qu'en cas de mauvais temps on puisse les rentrer les uns au-dessus des autres sous un même hangar.

Quand il fait beau, on renouvelle deux fois par jour la charge de chaque wagon.

On dispose en outre d'une étuve dont on se servirait l'hiver en cas de nécessité.

Une partie du graphite est vendue sous la forme de petits fragments anguleux, tels qu'ils viennent des séchoirs; on n'a qu'à les mettre en tonneaux. Mais une autre partie, qui est expédiée comme matière destinée à noircir divers objets en fonte ou en tôle, doit être préalablement amenée à l'état de pains parallélipipédiques. On fabrique simultanément trois modèles de pains, correspondant aux poids de 120 grammes, 60 grammes, 30 grammes; ces derniers sont moins employés. Les plus gros (120 grammes) sont

obtenus au moyen d'une presse mécanique horizontale. Le graphite presque sec, mais réduit en poudre, est introduit par une petite trémie; la compression est produite au moyen d'un mouvement d'excentrique, et le pain formé tombe de lui-même sur un ruban sans fin. On fabrique quatre pains par minute.

Pour les petits modèles, on se sert de trois presses verticales mues à la main; chacune donne un peu plus de cinq pains par minute.

On peut admettre que la réunion de tous ces appareils est capable de mouler par douze heures 1t,4 de graphite.

Une machine à vapeur horizontale de trente chevaux met en mouvement tous les appareils de la raffinerie, c'est-à-dire les meules, les agitateurs des cuves de délayage, la chaîne à godet et enfin la presse mécanique. En outre, elle fait marcher des pompes d'alimentation pour ses chaudières et pour les cuves de délayage.

Le déchet au raffinage est très-considérable, car, pour cinq tonnes de matière extraite, on obtient une tonne seulement de raffinade. J'ai déjà dit que les produits de Krumau sont toujours de qualité inférieure. Voici des résultats d'essais sur leur teneur en cendres :

Graphite naturel (produit vendu). .	54,4	de cendres	p. 100
Id. id. . .	57,0	—	—
Raffinade.	50,0	—	—

2° Schwarzbach.

La mine exploitée par le prince de Schwarzenberg est située entre Schwarzbach et Stuben, dans la vallée d'un petit cours d'eau, l'Oltsch, qui se jette dans la Moldau à quelques kilomètres plus loin. Cette vallée, comme celle de la Moldau le long du Bömerwald, est occupée par des tourbières. On trouve en moyenne une épaisseur de 1 à 2 mètres de tourbe et par dessous une égale épaisseur de terre végétale, puis le gneiss.

Les ouvertures de la mine étant placées en contre-bas des terrains environnants, on a ici tout l'inverse des conditions favorables que je signalais à Krumau. On est obligé d'avoir des machines pour l'extraction et l'épuisement; l'épuisement surtout donne lieu à des frais considérables. Aussi, malgré la qualité supérieure de ses produits, la mine se serait trouvée dans une situation critique si elle avait continué à employer exclusivement le bois comme combustible, ainsi qu'elle faisait encore il y a quelques années. Mais en présence de l'augmentation des prix, toujours de plus en plus accentuée, on a étudié les moyens d'employer couramment la tourbe et on est arrivé, ainsi que nous le verrons plus loin, à résoudre la question, dès à présent, d'une façon très-satisfaisante.

Comme voie de communication, une route relie Schwarzbach et Mugrau à Krumau, par suite à Budweis et au chemin de fer.

Quatre gîtes de graphite sont déjà connus près de Schwarzbach. Leur direction commune est de 3 heures (N.-E.) avec pendage N.-O. d'environ 60°. En venant du nord-ouest, on trouve d'abord un gîte dont l'existence a été reconnue dans des travaux de recherches, mais qui n'a pas encore été exploré; puis vient le gîte principal dont la puissance atteint par place 26 mètres. Dans le 3e gîte, sont ouverts seulement deux puits sans importance. Enfin le 4e gîte est celui dont on exploite le prolongement un peu plus loin, à Mugrau.

La mine comprend actuellement 5 étages, qui sont pris suivant l'ordre descendant; mais pour chacun d'eux, l'abatage s'opère en remontant.

Il y a évidemment intérêt à faire des étages aussi hauts que possible, en vue de diminuer l'importance relative des frais d'aménagement et d'entretien des galeries. Ces frais sont extrêmement considérables, car un cadre de boisage très-fort est brisé au bout de 3 ou 4 mois. Mais, d'autre

part, on doit redouter les affaissements qui se produiraient si les étages étaient trop élevés. Il faut que, pour chaque massif le graphite se maintienne en place dans les régions supérieures jusqu'au moment où y parviendra l'abatage.

On fait actuellement des étages de 16 mètres; mais autrefois on n'osait pas aller jusque-là, de sorte que la galerie de fond du 5e étage n'est qu'à 60 mètres de profondeur.

Les voies de fond de deux étages consécutifs sont reliées de 20 en 20 mètres, à l'aide de cheminées verticales. Lorsqu'on choisit l'emplacement de ces cheminées, on tient compte de ce qu'elles devront être utilisées successivement pour toutes les tranches de l'étage, et que, par conséquent, si elles ne sont pas entièrement situées dans le graphite, tout le stérile qui les en sépare sera forcément abattu. Aussi les perce-t-on, d'après la puissance du gîte, à des distances variables des galeries qu'elles doivent réunir, de façon à n'avoir à enlever par la suite que le minimum de stérile.

Un étage est divisé en piliers de 20 mètres de largeur par des ouvrages en travers qu'on pousse depuis la voie de fond jusqu'aux dernières limites du graphite. Chaque pilier est attaqué à la fois par ses deux extrémités, les deux abatages allant à la rencontre l'un de l'autre. On procède par tailles de 2 mètres de hauteur sur 2 ou 3 mètres de largeur. Le gîte fournit par lui-même une quantité suffisante de remblai qu'on dispose dans la taille aussitôt qu'elle est terminée; c'est sur ce remblai qu'on viendra se placer ensuite pour abattre une nouvelle tranche de 2 mètres.

Le graphite est descendu par les cheminées à la voie de roulage.

Dans les quartiers les plus difficiles on n'enlève d'abord les piliers que de deux en deux; puis on reprend ceux qui restent en revenant des limites du champ d'exploitation vers le puits et en abandonnant les boisages des cheminées.

Les ouvriers sont payés d'après la quantité de graphite qu'ils produisent. C'est du moins le cas lorsqu'il s'agit des

qualités inférieures qu'on appelle *tertia*. (On comprend sous ce nom toutes les parties de graphite *mou* ou du graphite *dur* qui doivent passer au raffinage.)

Au contraire, pour le graphite plus pur, ou *prima*, qui est toujours, comme nous l'avons vu, du graphite *mou* et qui est destiné à être vendu presque sans préparation, on sacrifie volontiers sur la rapidité de l'abatage. Dans les régions de la mine qui en contiennent, on exige, en infligeant au besoin des amendes, que les ouvriers le distinguent soigneusement et évitent de le mélanger aux parties de qualités médiocres qui se trouvent à proximité.

La *prima* se reconnaît d'ailleurs très-aisément. Il suffit d'en briser un moreau ; le son avec lequel se produit la rupture est déjà un indice pour les mineurs exercés ; mais on examine surtout l'aspect de la cassure ; celle-ci doit être d'un beau noir mat, tandis que pour le graphite moins pur on y distingue quelques points brillants.

En suivant le gîte principal du S.-O. vers le N.-E., on rencontre successivement les puits : Eleonora, Adolf, Baling, Schwarzenberg, Floriani et Glückauf. Dans l'autre gîte parallèle, situé au N.-O. sont les deux puits Paul et Peters.

Tous ces puits sont rectangulaires, avec un compartiment pour les échelles, et selon les cas un compartiment pour l'extraction ou pour l'épuisement (ces deux services ne coexistent qu'au Baling).

Eleonora et Floriani ne sont pas utilisés actuellement, sauf pour l'aérage.

Moteurs d'extraction. — L'extraction se fait au Baling et au Glückauf.

Le puits Baling possède pour cela une machine de 6 chevaux de vieille construction. La vapeur, sous la pression de 3 atmosphères, est fournie à cette machine, ainsi qu'à celle de la raffinerie, dont il sera question plus loin, par deux chaudières alternant leur service.

Au Glückauf se trouve une locomobile de 12 chevaux.

Moteurs d'épuisement. — Il en existe aux puits Adolf Schwarzenberg et Baling.

Au puits Adolf, c'est une machine de 40 chevaux, qui élève 1 mètre cube d'eau par minute. Elle est alimentée par deux chaudières à la pression de 3 atmosphères.

Au puits Schwarzenberg se trouve une machine de Cornouailles de la force de 100 chevaux. Elle donne d'habitude 3 coups par minute, pour élever 2 mètres cubes d'eau, dont une partie sert à la condensation. Deux chaudières lui fournissent la vapeur à 3 1/2 atmosphères.

Au puits Baling, on a une machine semblable à celle de Schwarzemberg; mais elle n'est pas ordinairement en service. Les deux puisards sont reliés par une conduite munie d'un vannage. En temps normal, ce vannage est ouvert, et les eaux de la mine, réunies au Baling, coulent de là au Schwarzenberg. Mais si la machine de ce dernier vient à avoir besoin de réparations, on ferme le vannage et on met en marche la machine du puits Baling.

Pour ces divers moteurs d'épuisement qui ont, ainsi que le montrent les chiffres des forces en chevaux, infiniment plus d'importance que les moteurs d'extraction, les chaudières sont chauffées au moyen de grilles construites en vue de l'emploi de la tourbe et appelées grilles Bolzano. J'en indiquerai en quelques mots les principales particularités: 1° elles comprennent une première partie formée de barreaux plats disposés en gradins, suivie d'une partie horizontale à barreaux carrés; 2° cette seconde partie fait corps à part, elle est portée sur des roulettes, de façon qu'on puisse la tirer au dehors lorsqu'on procède au nettoyage. De plus pendant que la grille est en service, on peut, au moyen d'un levier, donner simultanément des secousses à tous les barreaux et faire tomber ainsi les matières qui tendraient à obstruer les intervalles; 3° un dispositif spécial permet d'effectuer instantanément l'introduction d'une charge de combustible, en évitant tout courant d'air dans le foyer.

Ce type réalise sur les grilles inclinées ordinaires, comme celles qui sont employées pour la machine d'extraction du Baling, une économie de 15 à 20 p. 100.

Raffinerie. — Elle est située auprès des puits Baling et Schwarzenberg. La description que j'ai donnée de celle de Krumau me permettra de ne faire que mentionner les appareils qui sont communs aux deux installations et de m'arrêter seulement sur quelques différences.

La *prima*, venant de la mine, est soumise à un triage à la main effectué par des enfants, qui doivent enlever avec beaucoup de soin toutes les parties où ils aperçoivent quelques impuretés. Ce qu'on sépare ainsi est encore une très-bonne qualité, qu'on vend sous le nom de *media* ou *secunda*.

Pour être prêtes à l'expédition, la *prima* et la *secunda* ont seulement besoin d'être séchées. Ce séchage s'opère dans une caisse en tôle à double enveloppe; entre les deux enveloppes circule de la vapeur empruntée à l'échappement de la machine de Cornouailles du puits Schwarzenberg. On passe 2 tonnes en 24 heures.

Quant à la *tertia*, le graphite mou et le graphite dur qui en font partie sont traités séparément. Il n'y a cependant de différence que pour les premières opérations qu'ils subissent. Tandis que le graphite mou est envoyé directement à des cuves de délayage (sans broyage préalable), le graphite dur est bocardé sous un courant d'eau. Mais une fois la lavure obtenue, le traitement se continue de la même façon dans les deux cas.

a) *Traitement du graphite mou.* — Les cuves de délayage sont au nombre de 10, chacune peut passer $2^t,4$ par 12 heures.

Les appareils de dépôt sont un peu compliqués, ils comprennent 2 séries de 7 petites caisses pour le dépôt des matières sableuses, puis 3 séries de 17 caisses de dépôt de graphite. Entre ces 3 séries sont deux grandes cuves de mélangeage des dépôts.

L'opération se pratique comme à Krumau, sauf cette différence, qu'une fois que les dépôts ayant été mélangés dans les grandes cuves, et un peu reposés, on a écoulé l'eau rassemblée au-dessus, on fait passer immédiatement les boues (brai) de graphite sur des fours de séchage. Ce sont 2 grands bassins peu profonds sous lesquels circulent, en serpentant, les flammes produites par des foyers, au nombre de deux pour chaque bassin, dans lesquels on brûle des bois de rebut. Suivant les points de la sole, le séchage dure 12 à 24 heures.

Le séchage à l'air libre ne sert qu'à achever. Il se fait sur des wagons plats disposés comme ceux de Krumau; il y a cependant encore quelques caisses de séchage sans roulettes.

b). *Traitement du graphite dur.* — Pour le graphite dur, il y a 15 flèches de bocard qui passent 4,800 kilog. en 24 heures. Le produit bocardé emporté par l'eau va dans des appareils de dépôt — mélangeage des dépôts — séchage, identiques comme nombre et disposition à ceux qui servent pour le graphite mou.

Dans chacun des deux traitements, les déchets sableux, recueillis dans les petites caisses où passe d'abord la lavure, sont pulvérisés sous une paire de meules et soumis à un criblage.

La force motrice nécessaire à la raffinerie est donnée par une vieille machine verticale établie près du puits Baling.

Arrivons aux résultats du classement.

On a d'abord, à part, la *prima*, dont la marque commerciale est SP (*); et la *secunda*, SS.

Pour la *tertia*, le graphite mou donne au raffinage, selon sa pureté initiale, des produits qu'on distingue suivant

(*) Les lettres S, P, S, T, R, A, sont employées comme initiales des mots : *Schwarzenberg*, *prima*, *secunda*, *tertia*, *raffinade* et *abfälle* (déchets).

l'ordre de qualité décroissante par les marques $SR_{,,}$ $SR_{,}$, et $SR'_{,}$. Les déchets sableux, correspondant respectivement à ces trois sortes et traités comme il a été dit tout à l'heure, sont notés, dans le même ordre, SR_{m}, $SA_{,,}$ et SA_{m}.

Le graphite dur fournit un produit marqué SR_{n}, et dont les déchets sont SA_{n}.

Enfin les eaux sortant des appareils, et envoyées dans des bassins de repos, donnent une matière de qualité très-inférieure ST.

En ce qui concerne la composition de ces divers produits, on peut dire que la *prima* tient de 80 à 90 p. 100 de carbone pur, quelquefois même au delà; la *secunda* 70 à 80 p. 100, et la *tertia* moins de 70 p. 100.

Comme terme de comparaison, j'indiquerai que le graphite sibérien Alibert ne donne en moyenne que 3 p. 100 de cendres.

La mine et la raffinerie de Schwarzbach occupent 150 à 200 ouvriers, dont la journée se paye de 2f à 2f,50. Les enfants, qui font les triages à la main, gagnent 0f,70.

Le total de l'extraction annuelle, dont la valeur sera indiquée plus loin, se répartit à peu près de la manière suivante :

Prima.	10 à 11	p. 100
Secunda.	1 à 2	—
Tertia.	87 à 88	—

Le déchet au raffinage doit être au moins aussi considérable qu'à Krumau.

3° Mugrau (Société Eggert et Cie).

Cette société est celle dont le champ d'exploitation occupe la plus grande surface. Les conditions topographiques sont intermédiaires entre celles de Krumau et de Schwarzbach. On se trouve en effet à 20 ou 25 mètres au-dessus de la

vallée de l'Oltsch. Aussi l'épuisement est moins pénible et on a pu établir une galerie d'écoulement.

J'ai déjà dit que, dans cette région, la direction passe de 3 à 8 heures; le pendage atteint quelquefois 80°. Quant à la puissance du gîte, elle varie entre des limites encore plus larges qu'à Schwarzbach; elle arrive comme valeur extrême à 50 mètres. On connaît d'ailleurs quelques gîtes parallèles.

La méthode d'exploitation est la même que celle de Schwarzbach; seulement on considère la hauteur de 16 mètres par étage comme beaucoup trop grande et on se réduit à 8 ou 10 mètres. Les piliers ont d'ailleurs toujours 20 mètres de largeur.

Il existe actuellement 6 étages.

On trouve, en suivant les travaux de la Société de l'ouest vers l'est, les puits Moritz, Elias, Ferdinand, Anna, Victoria, Wenzel, Émilie, et une galerie sortant au jour près du village de Tattern.

Les puits Ferdinand et Elias ne servent qu'à l'aérage. Le puits Émilie n'est encore qu'un puits de recherches. — Le puits Victoria ne sert plus qu'à une extraction très-faible à bras d'hommes.

Le puits Anna a 42 mètres de profondeur, il sert à l'épuisement. Il est muni, à cet effet, d'une machine horizontale de 40 chevaux, qui élève par minute 1,2 à 1,3 mètres cubes d'eau; mais $\frac{1}{8}$ seulement est amené au jour pour le condenseur, le reste est écoulé par la galerie qui se trouve à moitié de la profondeur du puits. La machine est alimentée par deux chaudières alternativement en feu.

Au puits Wenzel se fait à la fois l'extraction et l'épuisement par une seule machine de 40 chevaux qui élève, comme la précédente, 1,2 à 1,3 mètres cubes d'eau par minute; $\frac{1}{10}$ seulement vient au jour, le reste à la galerie d'écoulement. Ce puits a déjà 80 mètres de profondeur.

Le puits Moritz possède une machine de 20 chevaux qui

exécute à la fois l'extraction et l'épuisement et met aussi en mouvement les appareils de la raffinerie. Elle est à double tiroir du système Mayer; sa vapeur lui est fournie par deux chaudières alternant leur service; la pression est de 4 atmosphères 1/2.

La raffinerie est installée à côté du puits Moritz; le traitement des matières s'y fait comme à Schwarzbach, sauf qu'on passe préalablement le graphite mou sous des meules. Elle comprend : 1 paire de meules, 19 flèches de bocards, 4 cuves de délayage pour le graphite mou venant des meules, puis les caisses de dépôt, les bassins de mélangeage, les fours de séchage, enfin 12 wagons de séchage naturel et quelques caisses sans roulettes pour le même emploi.

Auprès du puits Wenzel se trouve le séchoir à vapeur pour la *prima*.

La production annuelle de la mine se décompose ainsi :

Prima. . .	7 à 8 p. 100
Seconda. .	3 —
Tertia. . .	90 à 91, donnant 1/5 de *raffinade*.

La qualité des produits est de même ordre qu'à Schwarzbach; cependant la *prima* n'atteint pas couramment une aussi grande pureté.

4° Mugrau (Syndicat des paysans).

Cette exploitation est la moins importante des quatre. Son territoire très-restreint se trouve, non loin de l'Oltsch, dans le lieu appelé Langholz, entre ceux de la société Eggert et du prince de Schwarzenberg.

Il n'y existe qu'un seul puits, de 66 mètres de profondeur, muni d'une machine qui fait à la fois l'extraction et l'épuisement. Cette machine est de 35 chevaux, à deux tiroirs; elle élève 1 mètre cube d'eau par minute. La va-

peur lui est fournie par deux chaudières alternativement en marche, à la pression de 4 atmosphères 1/2. Les grilles sont du système Bolzano.

La hauteur des étages est la même que pour la société Eggert. On dépile actuellement le quatrième étage. Le cinquième est en traçage.

Jusque dans ces dernières années, un tiers environ du graphite extrait, impossible à vendre sans traitement préalable, était cédé à la société Eggert. Mais à l'époque de ma visite, on commençait à conserver les produits de cet ordre, dans l'intention d'établir prochainement une raffinerie.

Indications sur les emplois et les prix du graphite.

Les meilleures qualités, telles que les *prima* et *secunda* de Schwarzbach et Mugrau, servent à la fabrication des crayons.

Les autres ont des emplois assez variés, dont les plus importants sont la fabrication des creusets de graphite et le noircissage des poêles, tuyaux de poêles et divers objets en fonte ou en tôle.

Pour la fabrication des creusets, le graphite peut renfermer sans inconvénient une forte proportion de matières étrangères; d'ailleurs, lorsqu'il ne contient pas assez d'argile par lui-même, on est obligé de lui en mélanger $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$. Par exemple, le graphite de Passau, en Bavière, qui est très-renommé pour cet emploi, donne de 58 à 65 p. 100 de cendres. Mais ce qui est nécessaire, c'est que les matières étrangères soient exclusivement argileuses; la chaux est déjà préjudiciable parce qu'elle tend à former des silicates fusibles; le fer l'est encore plus, car outre le même inconvénient que la chaux, il donne souvent des colorations ocreuses. La texture du graphite est au moins aussi importante à considérer que la composition de ses cendres; on recherche surtout les variétés écailleuses, qui assurent aux creusets la solidité

convenable. Au contraire, pour la fabrication des crayons, un graphite finement grenu est de beaucoup préférable.

Comme matières noircissantes, des graphites très-médiocres suffisent.

Les emplois d'ordre secondaire sont :

a) La composition du *cambouis*, qu'on obtient en incorporant le graphite à des huiles ou à des graisses.

Une application du même genre, mais plus délicate, est celle qui consiste à projeter le graphite, sous forme de poudre fine, sur les parois internes des cylindres de machines soufflantes, en vue d'adoucir le frottement du piston et de rendre la garniture plus étanche. Il faut évidemment pour cet usage des graphites bien onctueux ; on doit donc les choisir parmi les bonnes qualités.

b) Le garnissage des moules dans les fonderies. On y utilise les produits de dernier ordre.

Enfin, on peut citer les applications du graphite au lissage de la poudre et à la galvanoplastie.

Aucun renseignement ne m'a été communiqué sur le prix de revient du graphite. Je puis seulement donner un tableau des prix habituels de vente (*) (*loco* Budweis), et des emplois des diverses sortes de Schwarzbach, dont j'ai indiqué précédemment les provenances.

			francs.	
Prima	SP_e	fabrication des crayons	756	la tonne
	SP (envoyée entièrement en Angleterre)	fabrication des crayons	610	—
Secunda	SS	fabrication des crayons	504	—
Raffinade extra	SR_0	(employée pour les machines soufflantes)	294	—
	SR_I	fabrication des creusets	252	—
	SR'_I	envoyées en Angleterre où on les emploie comme matières noircissantes	231	—
	SR_{II}	envoyées en Angleterre où on les emploie comme matières noircissantes	168	—
	SR_{III}	envoyées en Angleterre où on les emploie comme matières noircissantes	110	—
Raffinade ordinaire	SA_I	servent au garnissage des moules dans les fonderies	54	—
	SA_{II}	servent au garnissage des moules dans les fonderies	52,5	—
	SA_{III}	servent au garnissage des moules dans les fonderies	42	—
	ST		142	—

(*) La conversion a été faite à raison de $2^f,10$ par florin.

Production du graphite en Autriche. — Les chiffres suivants, tirés des statistiques officielles, ont pour but de donner une idée des variations subies par la production totale du graphite en Autriche, et de la façon dont les diverses provinces concourent à cette production. On voit que la Bohême occupe de beaucoup le premier rang.

Quantité de graphite extraite annuellement en Autriche (en quintaux métriques).

		BASSE AUTRICHE.	STYRIE.	CARINTHIE et CARNIOLE.	MORAVIE.	BOHÊME.	TOTAL.
Moyenne annuelle pour la période.	1826-27.	91	0	0	0	0	91
	1828-32.	215	0	35	614	3.963	4.827
	1833-37.	502	347	99	544	13.054	14.546
	1838-42.	840	673	147	770	12.813	15.243
	1843-47.	1.327	378	202	2.358	8.696	12.961
Quantité extraite en	1850. . .	3.713	179	914	9.822	7.322	21.950
	1851. . .	2.873	285	633	11.604	8.729	24.124
	1852. . .	4,944	633	843	6.567	19.876	32.863
	1853. . .	3.793	633	677	7.973	21.293	34.369
	1855. . .	»	»	»	»	»	36.113
	1859. . .	»	»	»	»	»	48.908
	1863. . .	»	»	»	»	41.889	72.984
	1867. . .	»	»	»	»	»	151.438
	1871. . .	6.600	34.700	235	26.550	188.500	256.585
	1872. . .	10.540	22.370	150	54.320	236.735	324.115
	1873. . .	11.615	28.185	330	47.000	222.845	309.975
	1874. . .	9.927	36.114	292	22.476	208.113	276.9[illegible]
	1875. . .	7.433	24.221	321	29.791	141,401	203.167
	1876. . .	»	»	»	»	»	127.171
	1877. . .	»	»	»	»	»	118.576

Voici maintenant les chiffres relatifs aux exploitations que nous avons étudiées.

QUANTITÉ EXTRAITE (quintaux métriques).	EN 1872.	EN 1873.	EN 1874.	EN 1875.
Prince de Schwarzenberg, à Schwarzbach.	48.448	128.208	111.884	61.283
Société Eggert et Cie, à Mugrau.	112.766	55.992	57.200	29.074
Société de Krumau.	61.572	20.160	27.969	40.324
Syndicat des paysans de Mugrau.	6.970	3.807	7.273	8.709

NOTE
SUR
LES MINES DE FER DE BILBAO

Par M. BAILLS, ingénieur des mines.

I. — Géologie.

I. *Situation.* — Parmi les vallées qui descendent des monts Cantabres vers l'Océan, dans la province de Biscaye, la plus importante et la plus fertile est celle du Nervion, ou rivière de Bilbao. Elle est limitée, vers le sud, près de son embouchure, par une série de collines peu élevées dont la ligne de faîte est orientée N. 125°E. C'est dans cette chaîne que se trouvent répartis les principaux gisements de minerai de fer; la zone métallifère s'étend jusqu'à la côte de l'Océan, et de Miravilla à Onton, elle comprend une longueur de plus de 25 kilomètres. Elle a son centre au mont Triano, ou Iturriano, à 12 kilom. et demi au nord-ouest de Bilbao. Elle se prolonge vers le sud-est par le groupe de Castrejana, Iturrigarri et Ollargan; vers le nord-ouest, par le groupe de Galdamès, dans la vallée du Rio de Somorostro.

II. *Roches encaissantes.* — La première étude géologique du sol de la Biscaye fut faite par M. Collette, ingénieur belge, qui publia en 1848 un opuscule intitulé le *Señorio de Viscaya.* Les terrains sédimentaires de cette province y sont distingués surtout par leurs caractères minéralogiques, et classés dans le lias et dans le crétacé. L'assise du calcaire marneux bleuâtre sur laquelle est bâtie la ville de Bilbao est rattachée à la formation liasique. Les couches crétacées au nombre de sept, comprennent de bas en haut: psammites bleus micacés; calcaires compactes à caprinites et dicérates; grès micacés; calcaires argileux; calcaires schisteux; argiles schisteuses; calcaires argileux.

Les études postérieures de MM. de Verneuil, Colomb et Triger, les recherches plus récentes encore de M. Amalio Maëstre, et la découverte de nombreux fossiles bien déterminés, permettent aujourd'hui une classification exacte de ces terrains. En effet, dans les couches nos 1, 2, et 4 ci-dessus, ou a trouvé, à Portugalète notamment, les fossiles suivants : *Sphærulites foliaceus; Requienia lævigata; des Caprinites, des Dicèrates, des Nérinées et des Orbitolites;* par suite, ce groupe, y compris la couche n° 3, dépourvue de fossiles, mais intercallée entre les assises 1 et 2 correspond au Cénomanien. C'est la craie moyenne; on y trouve souvent dans les strates de minces lits de lignite. Dans les couches nos 5, 6 et 7, qui se prolongent dans la province d'Alava, on a découvert le *Micraster coranguinum, l'Echinocorys vulgaris.* Ce groupe est l'équivalent du Sénonien; c'est la craie supérieure. La craie inférieure fait absolument défaut en Biscaye; on n'y voit ni le néocomien, ni le grès vert, ni le gault. Entre les deux étages de la craie s'est produit le soulèvement du mont Viso, dont M. Dufrénoy a constaté les effets sur le versant sud de la chaîne cantabrique au défilé de Pancorbo (*). Un soulèvement ultérieur du système des Pyrénées a redressé l'ensemble de ces terrains. Il en résulte une discordance transgressive et une orientation différente pour les deux étages précités. La prétendue bande liasique de Bilbao repose notamment en stratification discordante sur les assises de la craie moyenne, et doit être par conséquent placée dans la craie supérieure. Appliquant ces conclusions aux limites relevées par M. Collette, nous avons dressé un croquis géologique des terrains de la Biscaye (Pl. V, *fig.* 2).

III. *Minerais de fer.* — La masse principale des gîtes de fer se trouve concentrée dans le mont Triano, occupant une zone ovale, mais irrégulière qui commence en pointe

(*) Mémoire pour servir à la description géologique de la France (tome II).

vers le sud et s'élargit en forme de demi-cercle vers le nord : le grand axe, dirigé N. 124° E., mesure 3.700 mètres, et le diamètre moyen transversal est de 1.400 mètres environ. On y a découvert, répartis suivant une loi constante, trois sortes de minerais distincts : on les appelle *Campanil, Vena dulce, Rubio.*

Le Campanil est un minerai rouge, même dans sa cassure; sa poussière est rouge aussi; d'une dureté moyenne, plus dure que la Vena dulce, moins dur que le Rubio; sa gangue à peu près unique est la calcite cristallisée en rhomboèdres; il est, en maints endroits, pétri de ces cristaux qui atteignent souvent de grandes dimensions, et se séparent aisément. Le triage préalable est parfois nécessaire, pour ne pas introduire un excès de castine dans les hauts-fourneaux. Sa structure ne laisse pas de doute sur sa provenance; la cristallisation du carbonate de fer apparaît ordinairement dans la masse, et il semble résulter de la décomposition de ce sel, déposé à l'origine par des sources ferrugineuses. Le Campanil est une hématite rouge.

Tableau d'analyses du minerai Campanil.

ÉLÉMENTS de l'analyse.	N° 1. — Moyenne de douze analyses faites par la Société J. Cockerill de Seraing.	N° 2. — Analyse de campanil riche (usine Krupp).	N° 3. — Analyse de campanil riche (École des mines de Madrid).	N° 4. — Analyse de campanil très-riche (Usine d'El Desierto).
Peroxyde de fer. . . .	80,800	84,00	84,70	90,50
Oxyde de manganèse.	1.132	1,90	1,35	1,10
Chaux.	2,482	4,60	0,50	2,50
Magnésie.	traces	traces	»	»
Alumine.	»	traces	3,35	3,30
Silice.	5,560	3,20	1,80	1,50
Acide carbonique. . .			0,40	
Matières organiques. .	8,981	6,00	0,10	1,10
Perte au feu.			7,80	
Total.	98,945	99,70	100,00	100,00
Rendement en fer métallique.	55,748		59,29	62,445

L'analyse n° 1 peut être considérée comme donnant la composition normale du Campanil.

La *Vena dulce* (veine douce), tire son nom de sa propriété caractéristique : elle est très-tendre. Elle se coupe aisément au couteau, et se casse facilement, au point d'être trop friable pour le haut-fourneau. Cette qualité, jointe à sa pureté et à sa richesse, la faisait rechercher des mineurs primitifs travaillant en galerie pour les besoins des forges indigènes. On la distingue à la vue du Campanil. Car, si la poussière est aussi rouge, sa cassure est du moins brune et miroitante. Sa gangue est aussi très-différente ; elle contient beaucoup moins de matières étrangères, surtout moins de calcite, et ne présente souvent comme impureté que des filets minces d'une argile grasse et blanchâtre. C'est une hématite rouge, plus riche que le Campanil, et provenant de la même origine, c'est-à-dire du carbonate de fer décomposé. Il n'est pas rare de trouver des échantillons où la cristallisation en rhomboèdres s'est conservée dans toute sa netteté.

Tableau d'analyses de la Vena dulce.

ÉLÉMENTS de l'analyse.	N° 1. — Moyenne de seize analyses faites par la société J. Cockerill.	N° 2. — Analyse faite par la société Franco-Belge.	N° 3. — Moyenne de deux analyses (usine d'El Desierto).
Peroxyde de fer	90,500	91,97	81,325
Oxyde de manganèse	1,200	0,15	1,260
Chaux	0,634	0,75	0,500
Magnésie	traces	»	»
Alumine	»	»	2,500
Silice	1,880	»	9,675
Quartz et argile	»	0,40	»
Matières organiques	5,800	4,40	0,525
Perte au feu			4,215
Total	100,014	98,67	100,000
Rendement en fer métallique	62,440		

L'analyse n° 1 donne la composition normale de la Vena

dulce; l'analyse n° 3 correspond certainement à un échantillon très-impur.

Les deux minerais précédents sont des hématites rouges. Le Rubio est véritablement une hématite brune; c'est une différence radicale. Il est siliceux et hydraté. Ses propriétés physiques, comme sa composition chimique, le distinguent des deux autres espèces. Tantôt caverneux, tantôt très-compact, il est toujours dur et sa poussière est jaune. Il se présente parfois avec un aspect mamelonné, à surfaces brillant d'un éclat métallique; ce sont les plus beaux échantillons. Sa gangue consiste surtout en quartz et argile; on aperçoit rarement dans sa masse des traces de cristallisation, et l'on est tenté, à première vue, de lui assigner une autre origine que celle des deux autres variétés. Ce minerai a néanmoins une bonne teneur, et s'il avait été laissé de côté jusqu'à ce jour parce qu'il ne pouvait servir aux forges basques, désormais il pourra être utilement exploité pour le traitement des hauts-fourneaux.

Tableau d'analyses du minerai Rubio.

ÉLÉMENTS de l'analyse.	N° 1.	N° 2. — (Usine d'El Desierto).	N° 3. — (École des mines de Madrid.)
Peroxyde de fer	77,85	78,34	75,00
Protoxyde de fer	traces	»	»
Oxyde de manganèse	0,70	1,80	0,40
Chaux	0,50	0,45	traces
Magnésie	traces	»	1,80
Alumine	1,50	1,60	1,80
Silice	8,50	5,76	12,00
Acide carbonique	0,40	»	»
Matières organiques	»	»	»
Perte au feu	10,60	12,20	9,80
Soufre	0,09	»	»
Phosphore	0,02	»	»
Total	100,16	100,15	99,90
Rendement en fer	54,50		52,50

On voit que le Rubio est celui des trois minerais qui con-

tient le plus d'impuretés fixes ou volatiles; ces dernières sont fournies surtout par l'eau partiellement combinée.

IV. *Mode de gisement.* — Ces trois types de minerais se distinguent encore d'une manière remarquable par leur distribution dans le gîte, et par leur mode même de gisement. Le Campanil a été surtout mis en évidence sur la partie du mont Triano qui s'élargit vers l'Océan (Pl. V, *fig.* 3). Il est recouvert par un calcaire bleu clair, à cassure esquilleuse, très-dur, et souvent pétri de fossiles dont les coquilles sont noires, très-tendres, et ne peuvent être séparées de la roche. Néanmoins on a pu reconnaître dans ces fossiles la *Requienia lævigata*, ce qui établit l'identité de ces calcaires avec la couche n° 2 du crétacé moyen dont il a été question précédemment. Le recouvrement s'observe régulièrement dans les fronts de taille des Canteras, telles que San Miguel, César, etc., ouvertes sur le versant nord du Triano. Ce même calcaire forme la crête de cette montagne qu'il prolonge dans la direction de San Juan de Somorrostro jusqu'à Pucheta, marquant ainsi la ligne de partage d'eau du Nervion et du Rio de Somorrostro. Sur le flanc méridional, il s'étend d'une manière continue; mais il s'interrompt sur le flanc septentrional pour faire place aux affleurements du minerai; et l'on ne retrouve plus que des lambeaux épars, comme les fragments d'une même couche soulevée et brisée. En résumé, le calcaire à Requienia constitue le toit normal du Campanil, et lui est postérieur. Quant au mur de ce minerai, il n'est pas connu à ce jour; aucun ciel ouvert ne s'est assez approfondi pour le rencontrer, et aucun sondage n'a été fait pour le rechercher. Le seul fait acquis avec certitude, et manifeste notamment à la Cantera San Miguel, c'est qu'il tourne en profondeur à la Vena dulce.

A l'inverse du Campanil, le Rubio n'a pas de toit; mais on connaît son mur. C'est un minerai de superficie. Il forme des pitons saillants sur les flancs du mont Triano,

notamment à San Benito, et il prolonge, vers le sud cette montagne par des escarpements élevés. Il marque les affleurements du minerai de fer, et il est juxtaposé au calcaire à Requienia, sans être recouvert par lui. Mais le mur du Rubio est très-apparent. Il repose directement sur un grès schisteux micacé dans lequel sont incrustés des rognons de sidérose décomposés. Cette couche constitue le lit des nombreux cours d'eau qui coulent au fond des vallées, notamment dans la concession de la Orconera. Elle passe sous la montagne et réapparaît vers le sud, surmontée du calcaire à Requienia. C'est l'assise n° 1 située à la base du terrain crétacé moyen, la plus ancienne de la Biscaye. Elle paraît ainsi former le mur de tout le minerai.

Quant à la Vena dulce, ou mine de galerie, c'est un minerai de profondeur. On ne la trouve point à la surface, mais bien sous le Campanil ou sous le Rubio, auxquels elle paraît entièrement associée dans un seul et même gisement.

D'après ce qui précède, le dépôt primitif de ces minerais de fer à l'état de carbonate par la voie de sources thermales n'est pas douteux. L'âge des gîtes est moins évident. On a émis l'hypothèse que le Rubio était postérieur au Campanil et à la Vena dulce, ces deux derniers minerais formant seuls à l'origine une couche ou amas recouvert par le calcaire à Requienia. Rien n'est moins justifié que cette distinction en deux sortes de minerais d'âges différents. On trouve, en effet, au Somorrostro, toute une série de minerais représentant le passage progressif du Rubio au Campanil et à la Vena dulce. Le minerai appelé *Vena arubiada*, comme l'indique son nom, allie la richesse de la Vena dulce aux impuretés du Rubio ; en voici la composition :

Peroxyde de fer.	88,66
Oxyde de manganèse.	1,10
Chaux.	0,28
A reporter.	90,04

Report.	90,04
Magnésie.	traces
Alumine.	»
Silice.	1,80
Perte au feu.	8,20
Soufre.	0,033
Phosphore.	0,021
Total.	100,094
Rendement en fer métallique. .	62,060

Dans les gîtes, ces sortes de minerais se trouvent aussi dans une situation intermédiaire, en sorte que la transition d'une classe de minerai-type à l'autre est continue. Il semble donc logique de considérer les gisements du Somorrostro comme formant à l'origine une couche unique de carbonate de fer, intercalée entre les grès schisteux (mur du Rubio), et les calcaires à Requienia (toit du Campanil), qui constituent la base du crétacé moyen, redressée et disloquée ensuite par les soulèvements postérieurs, et transformée suivant les conditions physiques et chimiques où elle fut placée, en trois catégories principales de minerais. Le minerai plus profond fut plus exempt des actions extérieures; il resta plus cristallin, plus pur, plus tendre, et devint la Vena dulce; et, tandis que la roche métallique, directement placée sous le calcaire, donnait le Campanil, celle de la surface, mise à nu par les soulèvements, exposée à tous les agents atmosphériques, se chargea d'une plus forte proportion d'eau et de matières impures pour aboutir au Rubio. La transformation en peroxyde s'est faite d'ailleurs jusqu'à une très-grande profondeur, car, nulle part encore, on n'a trouvé le carbonate de fer. La puissance de la couche doit être très-grande, si l'on en juge par les escarpements de Rubio qui n'ont pas moins d'une centaine de mètres de hauteur. Telle est sans doute aussi l'épaisseur de la couche souterraine que des travaux en descenderie ont reconnu jusqu'à une profondeur de

70 mètres environ. Un sondage au centre du Triano, déterminant le mur de la Vena dulce, permettrait de résoudre cette question.

Le banc minéral se retrouve au N.-O. du Triano dans le contre-fort de Galdamès, où il affleure sur une longueur de 1.100 mètres en direction, et sur une épaisseur d'une centaine de mètres, nettement recouvert par les mêmes calcaires. Le minerai est du Rubio à la surface, suivant la règle ordinaire; mais aucun travail assez important de reconnaissance n'avait encore mis en lumière la transformation qu'il subit en profondeur. Les faits sont plus positifs dans le groupe d'Ollargan, au S.-O. de Bilbao. Ces mines se trouvent localisées dans les trois collines de Miravilla, Morro et Ollargan dont la ligne de crêtes prolongée passe par le sommet de Triano. Le minerai qu'on y exploite à ciel ouvert diffère assez par son aspect de ceux que nous avons décrits. A la surface, il se présente le plus souvent sous la forme d'un minerai jaune, sablo-argileux, d'un abatage très-facile. Voici une analyse du minerai d'Ollargan.

Peroxyde de fer	70,10
Oxyde de manganèse	3,66
Silice	13,66
Alumine	6,33
Chaux et magnésie	0,80
Eau et perte	5,60
Total	100,15
Rendement en fer métallique	49.07

On en trouve qui rend jusqu'à 54 p. 100 de fer, on le préfère pour le traitement des hauts-fourneaux au charbon de bois; il est hydraté et représente l'équivalent du Rubio. Parfois il passe à un minerai dur et compact, véritable hématite rouge offrant beaucoup d'analogie avec le Campanil, et ainsi nommé par les ouvriers eux-mêmes. Ce fait s'observe dans l'une des canteras Martinez, sur le mont

Ollargan. En outre, ces minerais sont en relation avec les mêmes assises sédimentaires précitées. A Miravilla notamment, on aperçoit des bancs ferrugineux presque verticaux, en contact immédiat avec ces mêmes roches. Ces preuves paraissent suffisantes pour conclure que les gisements de Galdamès et d'Ollargan occupent la situation géologique déterminée d'une façon précise pour les mines du Somorrostro.

II. — Historique.

Les mines du mont Triano sont connues de toute antiquité. Pline en parle comme d'une montagne massive de minerai (chap. IV de son *Histoire naturelle*). D'après la tradition, les premiers exploitants furent les Salazar, autorisés par don Juan II (reinado), vers la fin du moyen âge, à extraire les minerais de « sus Veneras », c'est-à-dire de leurs domaines. Un siècle après, ayant fait confirmer ce privilége, ils étendirent leurs prétentions à toutes les mines du Somorrostro, et construisirent la première route carrossable reliant les gisements à la rive gauche du Nervion. Cet empiétement souleva de vives réclamations chez les peuples de la Encartacion, voisins du Triano, lesquels, suivant les usages de la Biscaye, considéraient ces mines comme faisant partie intégrante du sol. De là surgirent de longs procès qui durèrent jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, et furent suivis d'une transaction; les Biscayens reprirent la possession des mines, moyennant une indemnité (14.500 écus) payée aux Salazar. Dès lors, maintes exploitations isolées s'ouvrirent, alimentant de nombreuses forges basques, dont l'ensemble, vers la fin du XVIIIe siècle, produisait 30.000 tonnes de fer ; un demi-siècle plus tard, en 1850, cette production avait même un peu diminué, elle n'était plus que de 27.600 tonnes ; et en 1870, malgré la construction de hauts-fourneaux et de fours à réduction directe, substitués en partie aux forges

indigènes, les usines de Baracaldo, Santa Ana de Bolueta, Astepe, Vedicolea et six forges basques n'avaient traité que 37.744 tonnes de minerai, correspondant à un rendement de 12.310 tonnes de fontes et 4.022 tonnes de fer. Le traitement sur place n'était donc pas un débouché suffisant pour ces mines. L'exportation pouvait seule déterminer une mise en exploitation sérieuse de ces gisements. Des tentatives dans ce sens avaient déjà été faites dans là première moitié de ce siècle, sur les côtes de la Gascogne, tandis que les fers produits en Biscaye étaient exportés dans les états libres de l'Amérique espagnole. Mais les fers anglais, fabriqués dans des conditions plus économiques, ne tardèrent pas à les éliminer de ce marché, et les maîtres de forges biscayens, attribuant ce résultat aux fers des Landes, firent interdire l'exportation. En 1852 elle fut autorisée de nouveau, moyennant les droits exorbitants de 5f,40 par tonne sous pavillon espagnol, et 6f,50 sous pavillon étranger, qui rendaient cette mesure illusoire. Aussi malgré la création du chemin de fer de la Députation (1864), on n'exporta, en 1866, que 12.890 tonnes. Mais, au commencement de 1870, l'État espagnol changea de tactique. Profitant d'une clause de la convention de 1839, qui reconnaissait à la Biscaye la pleine possession de son territoire, « sauf l'unité constitutionnelle de l'Espagne, » il étendit à cette province la loi des mines espagnole, et enleva au Señorio les gîtes du Somorrostro pour les concéder à des compagnies indigènes ou étrangères, non sans exciter de vives récriminations. Les frais d'exportation qui devaient d'abord être abolis jusqu'en 1880, furent néanmoins fixés à six réaux (1f,575) par tonne; depuis le 1er juillet 1876, ils ont été abaissés à deux réaux (0f,525). Aussi la production s'est-elle accrue rapidement comme l'indique le tableau suivant :

ANNÉES.	PRODUCTION EN TONNES.
1870	250.357
1871	403.142
1872	550.000
1873-74-75	Exploitation interrompue. Guerre carliste.
1876	745.802
1877	1.250.000

La presque totalité du minerai a été exportée, en 1877, dans les proportions suivantes : plus de la moitié en Angleterre, les $\frac{2}{5}$ environ en France, et le reste, un peu moins de $\frac{1}{10}$, en Belgique et en Hollande. Les commandes pour 1878 dépassent 1.500.000 tonnes, et la production ne connait pas désormais d'autre limite que les besoins de l'industrie.

III. — Exploitation.

L'exploitation technique comprend l'extraction, le transport, l'embarquement. Ces opérations ont subi, dans ces dernières années, des modifications importantes. Nous les résumerons succinctement en passant en revue l'exploitation antérieure à la construction du chemin de fer de la Députation, les conditions du fonctionnement de cette voie ferrée, et, en dernier lieu, les installations faites récemment par les compagnies concessionnaires.

I. *Exploitation primitive jusqu'en* 1864. — Pendant cette période, l'exploitation fut surtout souterraine. Les mineurs, avides de minerai riche, traitable dans les forges, négligeaient celui de la surface, et recherchaient la Vena dulce dans les flancs du Triano par des travaux irréguliers en descenderie. Du produit de ces fouilles, on retirait par le triage deux qualités distinctes, propres au traitement : l'une, très-pure, presque dépourvue de gangue, rendant 60 p. 100 à l'essai ; l'autre, mêlée d'un peu d'argile, rendant 50 p. 100 ; le reste, appelé *copetas*, était rejeté. Plus tard on ouvrit dans le Campanil, sur le versant N.-E., des

chantiers à ciel ouvert qui alimentèrent surtout les hauts-fourneaux nouvellement bâtis de Santa Ana de Bolueta et de la Merced, dans la vallée de Guriezo.

Ces travaux étaient généralement d'un accès difficile, présentant un front de taille très-irrégulier. Les moyens de transport étaient aussi primitifs : le minerai arrivait au pied du Triano sur des charrettes à bœufs rarement, mais surtout à dos de mulet ou dans des paniers (*cestos*) portés à dos d'homme. Il se rendait ensuite au petit port du Galindo, sur le rio de ce nom, affluent du Nervion, au moyen de petites charrettes à bœufs chargées de 600 kilog.; des gabarres, dirigées par un seul homme et portant 5 tonnes de minerai, le conduisaient ensuite au Desierto, au confluent des deux rivières, où venaient charger les bateaux. Le prix de revient de la tonne, embarquée, était le suivant :

	francs.
Extraction.	1,75
Transport au Rio-Galindo.	3,50
Transport en gabarre.	1,25
Manutention.	2,50
Total.	9,00

A cette époque, le prix de la journée de la main-d'œuvre et du transport était moitié moindre qu'aujourd'hui : le mineur au rocher gagnait $1^f,50$ environ par jour.

II. *Chemin de fer de la Députation.* — En 1864, fut autorisée la mise en exploitation de ce chemin de fer dont l'initiative fut prise par la Députation, gouvernement local de la Biscaye. Cette ligne, figurée au plan, part de la station d'Ortueilla, au pied du Triano, et après de nombreuses inflexions, sur un parcours de 7 kilomètres, aboutit au Desierto, tout près de l'usine de Baracaldo, sur la rive gauche du Nervion. La voie est unique, large de $1^m,73$; elle se ramifie près de la rivière en trois embranchements correspondant à trois estacades où viennent charger les bateaux. Les wagons, composés d'une caisse qui peut basculer

autour d'un axe établi sur un solide châssis, déchargent directement le minerai dans la cale. Ils tiennent chacun en moyenne 5t,5 de minerai. Le trafic normal peut s'évaluer à 12 trains de 25 wagons par jour, ce qui équivaut à un transport annuel de 500.000 tonnes. Ce chemin de fer a, en effet tenu pied à la production pendant la période des installations nouvelles. La Députation charge indistinctement le minerai de toutes les exploitations, moyennant un tarif qui a varié plusieurs fois. Lors de la reprise des travaux, en 1876, il était de 3 francs environ par tonne, puis il a été abaissé à 2f,15. On a supprimé ainsi le transport par charrettes au Galindo, et par gabarres au Desierto, et réalisé une économie par tonne de 2f,65. Pour faciliter la descente du minerai des Canteras à Ortueilla, on construisit un plan incliné de 400 mètres de longueur, du centre de Triano à la station. La première manœuvre donna lieu à un grave accident : les wagons furent précipités, et ce plan incliné, qui aurait pu ruiner l'industrie des charrettes, fut abandonné. Le prix de revient actuel de la tonne embarquée se décompose ainsi :

	francs.
Extraction	3,40
Transport par charrettes à Ortueilla	3,55
Transport par chemin de fer à Baracaldo	2,15
Total	9,10

L'augmentation de la main-d'œuvre, qui a doublé, a donc compensé à peu près exactement les économies obtenues par l'amélioration des transports.

III. *Concessions nouvelles. Situation.* — Les principales compagnies concessionnaires sont au nombre de six. Ce sont les quatre compagnies au titre anglais de Bilbao (Galdamès), la Orconera, Somorrostro, Luchana, et les sociétés franco-belge et Landore-Siemens. L'Angleterre a joué un rôle prépondérant dans la fondation de ces entreprises. La répartition de ces concessions sur les gîtes, et les

installations faites ou projetées sont indiquées en détail sur un extrait réduit de la carte de M. Marco Martinez, que nous avons complétée par la démarcation exacte des limites des gisements concédés, et par le tracé du chemin de fer projeté de la société franco-belge (Pl. V, *fig.* 1).

La *Bilbao Iron Ore Company limited* s'est installée sur les gîtes de Rubio de Galdamès, dans la haute vallée du Rio de Somorrostro; les ingénieurs anglais ont évalué la masse de minerai visible à 60 millions de tonnes. Cette compagnie possède aussi, au sud-ouest du Triano, des Canteras de Campanil qu'elle exploite partiellement. La société franco-belge, formée par Cockerill, Anzin et Montataire, occupe le centre du Triano et comprend les trois espèces de minerai : du Rubio à San-Benito, du Campanil à San-Barnabé et à San-Martin, la Vena dulce à Alhondiga et surtout dans les Conchas. Un ingénieur français a estimé ce gîte à 30 millions de tonnes. Les trois qualités de minerai se trouvent aussi dans la concession de la Orconera, qui se compose des mines de Rubio au sud-est du Triano, de la Concha n° 1 (Vena dulce), et de la minière Cesar (Campanil). MM. Ibarra, moyennant une redevance de 1f,25 par tonne exploitée, ont apporté comme lot ces gisements à leurs associés, MM. Dowlès et Krupp, qui se sont chargés de l'exploitation. La compagnie de Somorrostro a ses deux « pertinences », la Union et la Amistosa, enclavées dans la concession précédente. Celle de Luchana a pris place sur le versant opposé; au sud de la Orconera, elle paraît être sur la limite des gîtes. La société Landore-Siémens exploite les minerais d'Iturrigorri, sur la rive droite du rio Cadagua; c'est surtout de l'hématite brune. Voici, réunies dans un tableau, les analyses des minerais des trois premières concessions, les plus importantes :

ÉLÉMENTS des analyses.	GALDAMÈS. — Moyenne de 2 analyses de M. Baker.	LA ORCONERA. Laboratoire Krupp (moyenne).	LA ORCONERA. Usine d'El Desierto (moyenne).	SOCIÉTÉ franco-belge. Seraing. campanil.	SOCIÉTÉ franco-belge. Seraing. Vena dulce.
Peroxyde de fer. . . .	77,40	81,17	81,88	86,04	91,97
Oxyde de manganèse.	0,74	1,55	1,80	1,40	1,15
Chaux.	traces	0,62	0,36	2,55	0,75
Magnésie.	traces	traces		traces	»
Alumine.	4,65	»	2,65	»	»
Silice.	6,60	»	7,40	»	»
Quartz et argile.	»	5,08	»	0,95	0,40
Perte au feu.	10,89	11,50	5,93	8,10	4,40
Acide sulfurique. . . .	0,204	»	»	faibles traces	traces
Acide phosphorique. .	»	»	»	très-faibles traces	faibles traces
Total.	100,484	99,92	100,02	99,04	98,67
Rendement en fer métallique.	54,68		56,91	60,23	64,38

IV. *Voies ferrées; voies aériennes.* — Depuis 1870, malgré les trois années d'interruption causée par la guerre carliste (1873-1876), les compagnies précédentes et d'autres propriétaires de mines ont procédé à d'importantes installations pour le transport du minerai. L'ensemble des voies ferrées ou aériennes, construites ou projetées, est représenté sur la carte précitée (Pl. V, *fig.* 1); elles relient les gîtes à divers points d'embarquement situés sur le Rio Galindo, le Nervion ou la côte. Nous nous bornons à les réunir ci-après dans un tableau synoptique, indiquant la mine ou concession desservie, la longueur de la voie, les circonstances les plus remarquables du tracé.

MINES DESSERVIES ou à desservir.	VOIES ferrées. Longueurs construites.	VOIES ferrées. Longueurs projetées.	VOIES aériennes. Longueurs construites.	VOIES aériennes. Longueurs projetées.	OBSERVATIONS.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	
Concession de Galdamès.	22	»	»	»	A deux voies. Tunnel de 600 mètres.
— franco-belge.	»	8,5	»	»	Plan incliné de 926 mèt.
— la Orconera.	12	»	»	»	Plan incliné de 800 mèt.
— Luchana. . .	10,5	»	»	»	
— Somorrostro.	»	»	5,5	»	Système Audson; câble unique.
— Landore Siemens. . . .	3	»	»	»	
Canteras Ibarra.	»	»	»	0,7	Pour se relier à la voie de Galdamès.
Mines d'Onton.	3	»	»	»	
Cantera San-Miguel. . .	»	»	5,6	»	Système Bleichert, à deux câbles.
Mine de la Innocencia. .	»	10,5	»	»	
Mines d'Iturrigorri. . . .	»	2	»	»	
Totaux. . . .	50,5	21,0	11,1	0,7	

Les gîtes d'Ollargan, Morro, Miravilla sont desservis par la voie de Tudela à Bilbao, construite en 1864, et s'embranchant sur la ligne du nord de l'Espagne. Le prolongement de cette voie projetée jusqu'à Portugalète doit relier les têtes des chemins de fer miniers aboutissant à la rive gauche du Nervion, et détachera un rameau de 2 kilomètres aux mines d'Iturrigorri. On projette en outre d'établir sur la rive droite de cette rivière une voie ferrée allant de Bilbao à la Avanzada de Algorta. Les voies aériennes, en raison de leur caractère spécial, méritent une mention particulière. Dans le système Audson, la suspension de la benne se fait au moyen d'un simple crochet sur le câble unique à la fois moteur et conducteur; l'inclinaison de la voie est limitée par la condition qu'il ne puisse y avoir glissement sur le fil. Il n'en est pas de même pour le système Bleichert et Otto de Leipzig, dans lequel le fil moteur est distinct du fil conducteur; les bennes reposent sur ce dernier par l'intermédiaire d'un truc à deux roues, et la solidarité

avec le brin moteur s'établit par un ressort à déclic. A la mine, l'appareil récepteur se sompose d'une grande poulie dont la gorge reçoit le câble, encadrée d'un rail demi-circulaire surélevé. Les bennes vides passant sur le rail, sont chargées et poussées sur le fil de retour. Elles sont en fer et tiennent chacune 200 kilog. de minerai. Leur espacement est fonction de la vitesse et du poids transporté dans un temps donné. Lors de notre passage, la voie Audson, la seule qui fonctionnât, marchait à une vitesse de 2 mètres à la seconde, les bennes étant distantes de 40 mètres; dans ces conditions, et pour une journée de 10 heures, le poids utile transporté était de 360 tonnes. On ne peut nier aux voies aériennes certaines qualités spéciales qui peuvent les recommander dans certaines circonstances. Elles s'accommodent mieux que les voies ferrées des accidents du sol, ne nécessitent pas des ouvrages d'art, et sont d'un prix d'installation beaucoup moins élevé. Mais ce sont des mécanismes délicats, qui se détériorent assez rapidement sous les diverses causes atmosphériques, d'un entretien coûteux, et sujets à des ruptures de fil assez fréquentes, dont les résultats sont l'interruption absolue du transport sur toute la ligne, et un grand dégât de matériel. L'emploi du moteur fixe constitue un avantage; mais son rendement est beaucoup diminué par le poids mort transporté, et le prix de revient par tonne s'accroît dans une forte proportion, quand le trajet diminue. Au Somorrostro, l'expérience ne semble pas leur avoir été favorable. Des exploitations qui doivent avoir tant d'importance et de durée comportent des installations du même ordre, et les chemins de fer ou plans inclinés, qui se prêtent d'ailleurs fort bien à la configuration de la contrée, paraissent à bon droit avoir prévalu.

V. *Travaux à la mer.* — Quelques embarcadères ont été déjà établis; celui de Galdamès permet de charger trois navires à la fois; on achevait de construire ceux de la Orco-

nera et de Luchana, et l'on projette d'en installer en tête de chaque ligne minière importante. Mais il ne suffit point d'avoir des embarcadères; il faut encore en faciliter l'accès aux bateaux qui doivent se rendre de l'Océan dans le Nervion, et *vice versa*. Cette question est loin d'être résolue. Un double obstacle s'oppose à la navigation dans la rivière de Bilbao. Depuis cette ville jusqu'à son embouchure, le Nervion dont la pente moyenne est de $0^m,0001$ sur une longueur de 13.668 mètres, présente des courbes nombreuses dont les principales sont celles de la Elorrieta et du mont Aspe, et plusieurs hauts-fonds où l'on ne trouve pas plus de 2 à 3 mètres d'eau à basse marée, entre le havre et l'embarcadère de Luchana. De plus, l'entrée de la rivière est fermée par la barre, sorte de banc de sable dont la direction N.-E. coïncide avec celle d'une arête rocheuse affleurant sur la côte près de Santurce. Elle est formée de deux bancs séparés par une dépression, et n'offrant que $0^m,90$ de sonde, quand les eaux sont basses. Les bateaux ne peuvent entrer ou sortir, et descendre ou remonter le Nervion qu'à la faveur de la marée qui élève le niveau de l'eau de $0^m,90$ à $2^m,40$ sur la barre, et de 3 mètres en moyenne dans la rivière. Cependant les grandes frégates ne peuvent aller plus loin que Luchana. Le régime de la barre varie d'ailleurs avec les saisons; elle disparaît parfois pendant les orages de l'équinoxe; mais elle ne tarde pas à se reformer. La construction d'ouvrages propres à supprimer ce banc de sable et à améliorer le cours du Nervion, intéresse vivement les compagnies du Somorrostro vouées à une exploitation importante; mais ils ne sont encore qu'à l'état de projets, figurés sur le plan. Les travaux prévus dans la rivière consistent en un canal rectificateur de la courbe de la Elorrieta, une digue longitudinale sur la rive gauche de Luchana à la Vega d'El Desierto, se reliant au môle de la Venerita, une digue longitudinale sur la rive droite, parallèle à la précédente, de Luchana à La-

miaco; en outre la compagnie de Galdamès établit, pour sa commodité personnelle, des digues sur la plage de Sestao. Contre la barre, on a proposé divers expédients : on a songé à la solution d'un brise-lames flottant, analogue à celui de Plymouth, convexe vers l'Océan, et créant un abri de 11 mètres de sonde. On a projeté aussi de prolonger les deux môles de l'embouchure du Nervion jusqu'à proximité de la barre, espérant que le courant de la rivière la disperserait. Mais n'irait-elle pas se reformer plus loin ? On a vanté un système de pompes aspirantes pour soulever le sable et le mettre en suspension dans l'eau; mais ce serait un travail incessant. Enfin l'idée de créer un port dans le havre a inspiré les projets de MM. Coode et Vignolles. Ce sont des jetées partant de la côte ouest et se dirigeant, rectilignes ou courbes vers le rivage opposé. Le port le plus vaste n'aurait pas moins de 322 hectares; son entrée serait au nord-est. C'est un moyen radical pour supprimer la barre.

VI. *Conclusions. Prix de revient.* — En résumé, l'établissement des voies sur les gîtes est à peu près complet, et le transport assuré jusqu'au Nervion; mais il reste bien des travaux à faire pour permettre un embarquement régulier. Les sociétés concessionnaires comptent avec raison sur une extraction large et méthodique à ciel ouvert, et sur les moyens puissants dont elles disposent, pour réaliser une économie dans le prix de revient de la tonne mise à bord. La compagnie de Galdamès, pour un capital engagé de 5.545.000 francs, et pour une exploitation présumée de 500.000 tonnes, estime ce prix de la façon suivante:

	francs.
Extraction et mise en wagon. . . .	0,87
Transport par voie ferrée.	0,77
Embarquement.	0,19
Frais d'entretien et frais généraux.	0,39
Frais d'amortissement.	1,45
Redevance tréfoncière.	0,58
Total.	4,25

L'expérience pourra seule contrôler l'exactitude de ces prévisions. Mais on peut affirmer dès à présent qu'un grand progrès a été accompli pour la mise en valeur des gîtes du Somorrostro.

IV. — Traitement de la Vena dulce dans les fours à réduction Chenot.

La Vena dulce se prête bien à cette intéressante opération, que nous avons pu étudier de près à l'usine d'El Desierto. Le traitement complet pour arriver au fer marchand comprend la réduction du minerai de fer dans les fours Chenot pour éponge de fer; en second lieu, l'affinage de l'éponge au bas foyer.

1[re] *opération. Fabrication de l'éponge.* — Le four Chenot se compose essentiellement d'une cornue en briques réfractaires dont la section mesure $0^m,30$ sur $1^m,40$; elle est longue de $8^m,50$, prolongée vers le bas par un réfrigérant métallique de $2^m,50$. La charge est soutenue par un système de barreaux métalliques enfilés côte à côte dans des trous que présente la base du réfrigérant. L'appareil est clos hermétiquement en haut et en bas au moyen d'une fermeture hydraulique. Les foyers, au nombre de 4, sont placés symétriquement de part et d'autre de la cornue, soutenus par des voûtes reposant sur des piliers qui portent l'ensemble. Les gaz provenant de ces foyers, accouplés deux à deux, passent dans six carneaux verticaux, de $0^m,10$ de côté, ménagés dans chacune des grandes parois de la cornue, lesquels se réunissent en deux canaux distincts aboutissant à la cheminée d'appel. Une batterie de deux cornues constitue un four complet.

Travail. — On charge alternativement par couches dans chaque cornue le minerai et du fraisil de charbon de bois dont $\frac{1}{3}$ de chêne, $\frac{1}{3}$ de hêtre, $\frac{1}{3}$ d'arbousier. La réduction dure trois jours; l'éponge produite se refroidit dans le ré-

frigérant, et l'on fait la décharge deux fois par jour en retirant simplement les barreaux. L'éponge ne doit pas rougir au contact de l'air dans une marche normale ; on la trie de la gangue. Un four est desservi en 24 heures par 1 surveillant, 3 ouvriers qui font la charge et la décharge, et par deux femmes qui rapprochent les matières et font le triage de l'éponge. Le total des salaires correspondants est de 20 francs.

Produits et consommations. — Voici un tableau, pris sur les livres de l'usine, résumant les consommations en minerai, houille et fraisil, et la production d'éponge de fer, pendant une période de 9 semaines consécutives, de 7 jours chacune, et pour 2 fours :

SEMAINES.	CONSOMMATIONS.			PRODUCTION d'éponge.	CONSOMMATIONS POUR 100 d'éponge.		
	Minerai.	Fraisil.	Houille.		Minerai.	Fraisil.	Houille.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.			
1re	37,444	6,486	15,548	20,972	180	31	74
2e	36,156	6,348	13,846	21,068	171	30	65
3e	35,834	6,348	12,788	20,516	174	30	62
4e	35,972	6,302	12,696	20,194	177	31	62
5e	35,006	6,900	12,972	19,596	178	35	66
6e	36,432	6,900	12,236	20,194	180	34	60
7e	35,282	6,716	12,328	20,424	170	32	60
8e	36,616	7,130	12,190	20,700	176	32	58
9e	36,938	7,268	12,190	21,344	172	34	57

La moyenne des consommations par four et par jour, durant cette période, a donc été de 2t,584 de minerai, 0t,479 de fraisil, 0t,927 de houille, pour une production moyenne de 1t,468 d'éponge.

Prix de revient. — On peut déduire de ce qui précède les principaux éléments pour établir le prix de revient de la tonne d'éponge de fer ; en voici le détail :

a. *Matières premières.*

		francs.
Minerai de fer.	1t,753, à 13f,00 la tonne, ci.	22,79
Houille.	0t,627, à 23f,00 la tonne, ci.	14,42
Fraisil.		pour mémoire

b. *Frais spéciaux.*

	francs.
Main-d'œuvre et surveillance.	13,62
Frais d'entretien et divers.	5,00

c. *Frais d'argent.*

Frais de premier établissement.	6,00
Frais de roulement.	2,00
Total général.	63,83

C'est à peu près le prix de revient de la tonne de fonte dans la même usine.

2° *opération. Affinage de la fonte au bas-foyer. Travail.* — On fait, par journée de 12 heures, 15 à 20 charges composées chacune de 92 kilog. d'éponge et de 25 kilog. de charbon de bois. On souffle, avec deux tuyères inclinées à 15°, du vent sous la pression de 30^{mm} de mercure. La scorie se sépare; la loupe de fer est portée sous le marteau, puis au laminoir. Un bas-foyer est desservi, en 12 heures, par un fondeur et une femme qui rapproche les matières.

Produits et consommations. — Nous donnons ci-après le tableau des consommations en éponge et en charbon de bois, et de la production en fer brut, pendant 8 semaines consécutives, de 7 jours chacune, et pour un seul feu d'affinage.

NUMÉROS des semaines.	CONSOMMATIONS.		PRODUCTION en fer brut.	CONSOMMATIONS POUR 100 de fer brut.	
	Éponge de fer.	Charbon de bois.		Eponge de fer.	Charbon de bois.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
1re	29,624	8,050	16,330	181	49
2e	24,380	6,440	13,202	184	48
3e	21,068	5,382	10,764	195	51
4e	21,160	5,842	10,626	199	54
5e	16,376	4,278	9,246	177	46
6e	20,976	5,612	11,592	181	48
7e	20,884	5,934	11,362	183	52
8e	21,436	5,888	11,500	186	51

Par jour, on a donc consommé en moyenne 3t,141 d'éponge de fer et 0t,847 de charbon de bois, et produit 1t,690 de fer brut; ce qui correspond à 1t,857 d'éponge et 0t,499 de combustible par tonne de fer.

La scorie obtenue dans cette opération est très-riche; en voici la composition :

Peroxyde de fer	72,26
Protoxyde de fer	5,43
Oxyde de manganèse	4,44
Alumine	0,80
Chaux	3,92
Magnésie	1,08
Silice	12,00
Soufre	0,08
Acide phosphorique	0,08

Le fer produit est très-doux, très-malléable, et appliqué spécialement à la fabrication des clous pour ferrer les bœufs. On peut d'ailleurs obtenir la même qualité de fer dans le haut-fourneau; il faut pour cela produire la fonte la moins siliceuse possible, en précipitant les charges et rendant le laitier plus calcaire.

Prix de revient brut de la tonne de fer. — Ce prix de revient brut se décompose comme suit :

a. *Matières premières.*

Éponge de fer	1t,857, à 63f,83 la tonne, ci.	118,53
Charbon de bois.	0t,499, à 40f,00 la tonne, ci.	19,96

b. *Frais spéciaux.*

Main-d'œuvre et surveillance	7,69
Total par tonne de fer brut	146,18

Conclusions. — La réduction directe au four Chenot exige du minerai très-pur et très-riche, et la conduite de l'opération est fort difficile. Au feu d'affinage, la consommation d'éponge est énorme et élève notablement le prix

le revient de la tonne de fer. Pour obvier à cet inconvénient, on a proposé de faire subir à l'éponge une compression préalable. A l'usine d'El Desierto, l'expérience ne paraît pas avoir été favorable à ce mode de traitement. Le nombre de fours avait été réduit successivement de 6 à 2; et les 2 derniers que nous avons vus fonctionner semblaient eux-mêmes appelés à disparaître.

NOTE

SUR

L'ALTÉRATION DU FER ET DE LA FONTE PAR LES MATIÈRES GRASSES DANS LES ORGANES DES MACHINES SOUMIS A L'ACTION DE LA VAPEUR.

Par M. A. MERCIER, Chef du laboratoire des essais de la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M.

J'avais eu l'occasion, à diverses reprises, d'examiner au laboratoire des boules plus ou moins dures qu'on retirait de temps à autre des cylindres des machines, et qu'on attribuait généralement à l'emploi d'huile de graissage acide.

Ces matières, broyées et mises en digestion dans l'éther, laissaient un résidu insoluble de peroxyde de fer, tandis qu'une partie soluble était formée d'acide oléique combiné à de l'oxyde de fer et mêlé d'huile non décomposée.

La formation de l'oléate de fer résultait-elle de l'emploi d'huile plus ou moins rance à réaction acide, ou bien était-elle le produit du dédoublement des corps gras neutres en présence du fer et de la vapeur d'eau à haute pression ? Cette alternative m'engagea à faire au laboratoire l'expérience suivante :

De la vapeur d'eau à une pression voisine de celle de l'atmosphère était dirigée dans un ballon rempli de copeaux de fer baignant dans de l'huile de colza rendue neutre par un traitement préalable par le carbonate de soude.

Un tube à gaz plongeant sous une éprouvette remplie d'eau, était placé à la suite du ballon ; l'appareil étant purgé d'air par la vapeur d'eau, je vis se dégager, lentement il est vrai, mais d'une manière continue, de petites bulles de gaz que je reconnus pour être du gaz hydrogène.

La même expérience, répétée avec des copeaux de fer

parfaitement dégraissés, ne donna pas de dégagement de gaz combustible.

D'après ces expériences, et contrairement à des explications données sur l'altération des métaux par les corps gras, ces derniers n'ont pas besoin d'être acides ou rances, ni d'être chauffés à plus de 100 degrés pour décomposer la vapeur d'eau en présence du fer, de manière à donner naissance à de l'oléate de protoxyde de fer, de la glycérine et de l'hydrogène.

Lors de la visite des cylindres de la machine à agglomérer de Brassac, et après une marche avec addition de carbonate de soude à l'eau d'alimentation (cette eau contenait $2^{gr},068$ de sulfate de chaux par litre), on trouva les vides du piston remplis d'une matière dure, formée de graisse mêlée d'oléate de chaux et de carbonate de chaux, entraînée avec l'eau par la vapeur.

On n'y trouva pas de fer, le carbonate de chaux avait préservé le métal de toute altération.

Un cadre de tiroir de la machine fixe de Valence présentait des corrosions plus ou moins profondes, tandis que la tige était intacte.

On a pu détacher des parties corrodées, une matière dure, ramollissable vers 200 degrés, mais non point fondue. Cette espèce de mastic renfermait des parcelles de fer arrachées par le frottement et présentait la composition suivante :

Huile non altérée.	2,60	100
Peroxyde de fer.	91,55	
Acide oléique.	5,60	
Pertes.	0,25	

Dans cette machine, il n'y avait pas d'entraînement de calcaire qui aurait pu, comme dans le cas précédent, préserver le fer d'altération.

A la machine fixe des Ateliers de Paris, le même fait se reproduit : l'huile de graissage des tiroirs inclinés se ras-

semble à la partie inférieure de la boîte et perfore la fonte.

Dans les machines locomotives, on observe l'altération du taraudage des vis qui fixent les ressorts du cadre du tiroir de distribution.

Ces observations me conduisirent à faire l'expérience suivante.

Un seau en tôle, contenant des copeaux de fer imprégnés d'huile de colza préalablement neutralisée, fut placé pendant huit jours dans le réservoir à vapeur qui fait fonctionner les marteaux-pilons; après ce temps, on a retiré du seau environ un demi-litre d'huile très-épaisse, coulant à peine, et exhalant une odeur d'ail semblable à celle qu'on obtient en traitant des copeaux de fonte par un acide; le fer était fortement corrodé, et l'huile, colorée en brun foncé et entièrement soluble dans l'éther, renfermait 7 p. 100 d'oxyde de fer. Cet oléate de fer, au contact de l'air, s'oxyde rapidement et, comme tous les sels de fer au minimum, abandonne du peroxyde de fer; mis de nouveau en présence du fer, il l'attaque et est ainsi ramené à son premier état de saturation.

C'est ainsi qu'on peut expliquer la forte proportion de peroxyde de fer non combiné que renferme la matière trouvée dans les tiroirs de la machine de Valence.

Ces faits me paraissent expliquer assez nettement l'altération de certaines chaudières recevant des matières grasses provenant, soit de celles qui sont entraînées par la vapeur qui s'échappe des cylindres, soit de celles qui servent à lubrifier les tiroirs de prise de vapeur.

La prise de vapeur des machines locomotives se fait le plus souvent directement à la partie supérieure du corps cylindrique de la chaudière, au moyen d'un tiroir; l'huile qui sert à lubrifier ce dernier s'y charge de fer, devient plus lourde que l'eau, gagne le fond de la chaudière, attaque la tôle, et forme sur la tôle ces gravelures qu'on n'observe que si l'eau, très-pure, n'a pas déposé en cet endroit

une croûte calcaire qui préserve la chaudière dans le plus grand nombre des cas.

L'emploi d'huiles minérales, épaissies au besoin avec de la cire ou de la paraffine, appliqué au graissage des pièces placées dans la vapeur, serait sans doute un bon moyen de combattre l'altération des organes des machines.

Paris, le 15 décembre 1878.

REVUE
DES
PRINCIPAUX TRAVAUX PUBLIÉS SUR LA MINÉRALOGIE
PENDANT LES ANNÉES 1877 ET 1878

Par M. ER. MALLARD,
Ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des mines.

En reprenant ici la série depuis longtemps interrompue des Revues minéralogiques, j'ai dû me préoccuper de limiter ma tâche. Je ne pouvais songer à résumer les progrès accomplis dans la science pendant les quinze dernières années. Un pareil travail eût dépassé mes forces; il n'eût eu d'ailleurs qu'un intérêt historique, car ces progrès ont été enregistrés d'une façon complète dans des ouvrages classiques qui sont à la disposition de tout le monde. Ce sont principalement la dernière édition du *Manuel de minéralogie* de Dana et les deux suppléments qui l'ont suivie, le dernier fascicule du grand *Traité de minéralogie* de M. Des Cloizeaux, le *Traité de minéralogie* de M. le V[te] de Selle, et la dernière édition, revue par M. Zirkel, et parue en 1877, du *Traité de minéralogie* de Naumann. Je me suis donc borné à faire connaître les principaux travaux minéralogiques parus, soit en France, soit à l'étranger, pendant les années 1877 et 1878.

Je n'ai pas cru devoir m'astreindre à donner à ce travail de compilation un caractère absolument impersonnel. Il m'est arrivé quelquefois de prendre la parole pour apprécier à mon point de vue particulier les observations que je faisais connaître. Je n'ai qu'à souhaiter que le lecteur ne juge pas que j'ai ainsi inutilement allongé un travail déjà trop long peut-être.

---

§ I.
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CRISTALLOGRAPHIQUES DES MINÉRAUX.

Propriétés élastiques.

On sait qu'on doit à l'illustre Savart une série très-remarquable de travaux sur l'élasticité des cristaux. Le procédé de Savart con-

istait à découper dans le cristal, suivant différentes directions, les plaques minces qu'on soumettait à des vibrations et sur lesquelles on étudiait la répartition des lignes nodales. Le procédé de Savart a été repris récemment, avec d'importantes améliorations, par M. *Jannettaz* (1); nous attendrons, pour en rendre compte, que ce savant ait complété ces recherches, dont il n'a fait connaître jusqu'ici qu'un petit nombre de résultats, en s'attachant surtout à faire remarquer l'accord qui existe entre les directions de plus grande élasticité et celles de plus facile propagation calorifique.

— Plusieurs savants allemands se sont occupés de l'élasticité des cristaux, mais en se servant d'une méthode entièrement différente de celle de Savart. Le procédé consiste à découper dans le cristal, suivant des directions bien nettement définies, des barres rectangulaires dont on détermine, par les procédés connus, le coefficient d'élasticité et le coefficient de torsion. On peut ainsi calculer rigoureusement les coefficients physiques qui entrent dans les formules déduites par Neumann de la théorie générale de l'élasticité et qui définissent complètement les propriétés élastiques du cristal.

Une déformation quelconque d'un corps développe des forces élastiques intérieures. En un point O du corps, on mène trois plans rectangulaires pris pour plans coordonnés. La déformation du corps est définie par les dilatations linéaires d_x, d_y, d_z, de l'unité de longueur, suivant les axes coordonnés, et les angles très-petits α_x, α_y, α_z, dont les dièdres, ayant pour arêtes respectives dx, dy, dz, ont été augmentés ou diminués (2). La force élastique développée en O sur l'unité de surface du plan yz a pour composante normale au plan N_x, et pour composantes parallèles au plan T_{xy} et T_{xz}; la force s'exerçant sur le plan zx a pour composantes N_y, T_{yz}, T_{yx}; enfin la force s'exerçant sur le plan xy a pour composantes N_z, T_{zx}, T_{zy}. On sait d'ailleurs que $T_{xy} = T_{yx}$, $T_{xz} = T_{zx}$ et $T_{yz} = T_{zy}$.

Les forces élastiques exercées sur les autres plans passant en O se déduisent de celles qui sont exercées sur les plans coordonnés, lesquelles dépendent elles-mêmes des six quantités

$$N_x, \quad N_y, \quad N_z, \quad T_{yz}, \quad T_{zx}, \quad T_{xy}.$$

Or, pour les substances qui appartiennent au système cubique,

(1) *Bulletin de la Société géol. de France*, 1877. 7e s., t. 8.
(2) Voir dans ces *Annales* le beau mémoire de M. Peslin. 7e s., t. 8, 1875.

les forces élastiques sont liées à la déformation par les équations suivantes :

$$N_x = Ad_x + A'(d_y + d_z),$$
$$N_y = Ad_y + A'(d_z + d_x),$$
$$N_z = Ad_z + A'(d_x + d_y),$$
$$T_{yz} = B\alpha_x,$$
$$T_{zx} = B\alpha_y,$$
$$T_{xy} = B\alpha_z.$$

Les coefficients A, A', B, qui ne sont qu'au nombre de trois, sont indépendants de la déformation et définissent les propriétés élastiques du corps considéré.

M. *Voigt* (1) a déduit de ses expériences sur la flexion et la torsion de prismes de sel gemme qu'on devait avoir pour cette substance :

$$A = 845, \quad A' = 550, \quad B = 113,$$

l'unité de force étant le kilogramme, et l'unité de longueur le millimètre.

— M. P. *Groth* (2) a employé, pour trouver les coefficients d'élasticité du sel gemme suivant différentes directions, un procédé très ingénieux et d'un emploi plus commode, sinon aussi précis, que le procédé de la flexion employé par M. Voigt : M. Groth pose sur une même planchette élastique une barre d'acier dont l'élasticité est connue et la petite barre cristalline. On fait vibrer la barre d'acier au moyen d'un archet; les vibrations se transmettent à la barre cristalline, et les deux barres exécutent des vibrations concordantes. On mesure, au moyen de sable répandu sur la surface, la distance de deux nœuds sur chacune des deux barres, et l'on en déduit, par une formule connue, le rapport des coefficients d'élasticité. Les mesures publiées par M. Groth concordent assez bien avec celles de M. Voigt.

— M. *Coromilas* (3) a étudié l'élasticité du gypse en découpant, dans des lames de clivage d'une épaisseur de 0,3 à 0,4 de millimètre, et dans des directions variables, des bandes allongées de 50 millimètres de longueur et de 15 millimètres de largeur, et soumettant ensuite ces bandes à la flexion. Au moyen de formules

(1) *Pogg. Ann. Ergänzungsband*, t. VII (1875-1876), p. 1.
(2) *Pogg. Ann.* 1875.
(3) *Inaug. Diss. Tübingue*, 1877, analysé par M. P. Groth, *Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie*, t. I, 4e cahier.

connues, il a pu calculer le coefficient d'élasticité E suivant les différentes directions des diverses bandes. Si l'on part de l'axe cristallographique parallèle à la diagonale inclinée, en parcourant l'angle obtus formé par cet axe et la hauteur de prisme, on rencontre l'axe de plus grande élasticité après avoir parcouru un angle de 75°,4, et l'axe de plus petite élasticité après avoir parcouru un angle de 158°,1. La valeur maximum de E est égale à 8.870.000 grammes; la valeur minimum à 3.130.000 grammes.

Ces données se rapportent au gypse d'Ashersleben, mais le gypse de Montmartre a donné des résultats assez voisins.

M. Coromilas a fait des expériences analogues sur les lames de clivage du mica, mais les valeurs de E suivant les différentes directions sont très-peu différentes les unes des autres.

Figures de corrosion.

Les minéralogistes allemands emploient depuis longtemps un mode d'investigation fort intéressant, qui consiste à soumettre les cristaux à des actions chimiques corrosives ménagées. Les particularités de la corrosion sont identiques pour les différentes faces d'une même forme simple, mais elles varient d'une forme à l'autre, ce qui permet de juger du mode de symétrie du cristal. En outre, les figures produites par la corrosion (*Œtz figuren*), sur une même face cristalline, ont elles-mêmes des rapports nécessaires avec la symétrie de l'édifice cristallin.

M. *Baumhauer*, qui s'occupe particulièrement de ce genre de recherches, a étudié (1) les figures de corrosion produites sur les faces cristallines du quartz par l'action de la potasse fondue. Il a trouvé que ces figures ne sont pas les mêmes, pour les mêmes faces, sur les cristaux gauches et les cristaux droits. Sur les faces $e^{\frac{1}{2}}$, les cavités triangulaires formées ont leur plus grande longueur dirigée suivant l'intersection de $e^{\frac{1}{2}}$ et de e^2; mais chez les cristaux droits, le côté le plus court de la cavité est en haut à gauche et en bas à droite; chez les cristaux gauches, au contraire, le côté le plus court est tourné en haut à droite, en bas à gauche. Sur les plans p, les figures de corrosion sont plus lentes à se produire, en moindre nombre et moins fortement marquées. Elles sont aussi triangulaires; leur plus grande dimension est dirigée à peu

(1) *Pogg. Ann.*, 1877, t. I.

près suivant l'intersection de p avec le trapézoèdre droit ou gauche $\frac{1}{2}\left(b^{\frac{1}{6}} d^1 d^{\frac{1}{2}}\right)$.

En parlant des travaux publiés sur les substances à forme limite, j'aurai encore à parler d'un mémoire de M. Baumhauer sur les figures de corrosion de l'Amphigène.

— M. *P. Groth* (1) a porté son attention sur des cristaux de quartz basés du Brésil. Il a constaté sur ces cristaux l'existence de la pyramide trigonale très-rare $\frac{1}{4} b^2$, tantôt gauche, tantôt droite. Il a étudié la structure des cristaux, soit avec l'aide de la lumière polarisée sur des plaques minces, soit avec l'aide de la corrosion produite par l'acide fluorhydrique sur les plaques et sur les faces cristallines. On verra, dans les planches qui accompagnent le travail de M. Groth, la remarquable complication de structure que présentent les cristaux de quartz étudiés par lui.

Groupements réguliers de cristaux appartenant à des substances différentes.

M. vom Rath (2) a étudié une sorte de pseudomorphose formée par une série de petits cristaux de rutile qui ont rempli exactement la place antérieurement occupée par un cristal de fer oligiste. Le cristal de fer oligiste était formé par l'isoscèloèdre e_3, tronqué par la base a^1 de manière à figurer une sorte de table hexagonale. Les petits cristaux de rutile qui ont rempli l'espace laissé vide par le fer oligiste sont des prismes portant les faces m (h^1 D. Cl.), h^1, h^3, et surmontés par les octaèdres a^1, $b^{\frac{1}{2}}$ (a^1 D. Cl.). Les prismes ont 3 orientations différentes, dans chacune desquelles l'axe quadratique est parallèle à une diagonale de la base du fer oligiste, c'est-à-dire à une bissextrice des axes binaires de cette substance. Dans tous les prismes de rutile, la face h^1 (m. D. Cl.) est parallèle à la base a^1 du fer oligiste (3). Il résulte de cette dispo-

(1) *Zeit. für Kr.*, I, 1, 1877.
(2) *Zeit. für Kr.*, I, 1, 1877.
(3) M. Des Cloizeaux signale (*Manuel de minéralogie*, t. II, p. 198) des cristaux de rutile couchés sur des cristaux d'oligiste, de manière que les faces h^1 du rutile restent toujours parallèles à la face a^1 de l'oligiste, les axes quadratiques du premier sont parallèles aux plans de symétrie du second. Les groupements signalés par MM. Des Cloizeaux et vom Rath sont bien d'accord avec la tendance du rutile à prendre une structure pseudo-hexagonale par des hémitropies autour d'une normale à h^1 et avec le croisement des aiguilles du rutile, suivant des angles de 60°, dans la variété dite *Sagénite*.

tion que les plans $b^{\frac{1}{2}}$ et h^3 du rutile se trouvent à peu près parallèles aux faces e_3 du fer oligiste, et c'est ce que l'observation constate. On a en effet :

$$a^1 e_3 = 61°13'5 \quad \text{fer oligiste,}$$

$$\left.\begin{array}{l} b^{\frac{1}{2}} h^1 = 61°33' \\ h^3 h^1 = 63°16' \end{array}\right\} \text{rutile.}$$

— M. *Bucking* (1) a étudié des cristaux de fer oligiste de la vallée de Binnen régulièrement enchevêtrés avec des cristaux de magnétite. Il a trouvé que la base a^1 du fer oligiste est parallèle à la face octaédrique a^1 de la magnétite ; les côtés de la face a^1 du fer oxydulé sont parallèles aux bissectrices des axes binaires du fer oligiste. L'axe ternaire unique de l'oligiste est donc parallèle à l'un des axes ternaires de la magnétite, et les 3 axes binaires de l'oligiste sont parallèles à 3 des axes binaires de la magnétite. En d'autres termes, les axes du rhomboèdre de 86° de l'oligiste sont orientés comme ceux du rhomboèdre de 90° de la magnétite.

— M. *Seligmann* (2) a observé un cristal de magnétite aplati suivant une face de l'octaèdre, et portant de petits cristaux de rutile régulièrement couchés suivant trois directions parallèles aux côtés de l'octaèdre, c'est-à-dire aux bissectrices de 3 axes binaires. Les plans h^1 des cristaux de rutile sont parallèles aux plans de l'octaèdre. Les cristaux de rutile sont donc placés par rapport à un axe ternaire de la magnétite, comme ceux observés par M. vom Rath, le sont par rapport à l'axe ternaire du fer oligiste. Ce son ici les plans h^4 qui sont à peu près parallèles aux faces latérales de l'octaèdre. On a en effet :

Magnétite.	$a^1 a^1 = 70°32'$
Rutile.	$h^4 h^4 = 71°34'$

— M. *Sadebeck* (3) a étudié la cristallisation de la marcasite (fer sulfuré blanc). Il admet pour les constantes cristallographiques :

$$a : b : c = 1 : 1{,}3052 : 1{,}6108, \quad mm = 106°5'.$$

constantes qui s'éloignent un peu de celles qui étaient admises avant lui.

Après avoir constaté que les hémitropies se font suivant les deux

(1) *Zeit. für Kr.*, I, 6, 1877.
(2) *Zeit. für Kr.*, I, 4, 1877.
(3) *Pogg. Ann. Erg.*, VIII, 4.

lois connues : 1° autour d'une normale à la face *m*; 2° autour d'une normale à une face a^1, M. Sadebeck étudie les phénomènes qu'il désigne sous le nom de *cristallotechtoniques*, c'est-à-dire, l'allongement des cristaux suivant certains axes, leur aplatissement suivant certains plans, etc. Mais la partie la plus curieuse du Mémoire est celle qui a trait aux phénomènes présentés par les cristaux composés mi-partie de pyrite, mi-partie de marcasite. On conçoit quel intérêt ont de semblables études au point de vue de l'explication du dimorphisme.

M. Sadebeck montre que, lorsque des cristaux de marcasite et de pyrite se superposent, l'orientation relative des cristaux des deux espèces peut obéir à deux lois différentes :

I. L'axe vertical de la marcasite et une parallèle à un côté de la base se confondent avec deux axes hémi-quadratiques (1) de la pyrite.

II. L'axe vertical de la marcasite coïncide toujours avec un axe hémi-quadratique de la pyrite, mais un axe binaire de la marcasite coïncide avec un axe binaire de la pyrite.

Si la position du cristal de pyrite est supposée rester constante, l'angle formé autour de l'axe vertical par les deux positions du cristal de marcasite satisfaisant à ces deux lois est de 7°32'.

Les observations intéressantes de M. Sadebeck appellent l'attention sur le dimorphisme du sulfure de fer. Pour les substances dimorphes dont les deux réseaux, très-voisins l'un de l'autre, diffèrent principalement par le degré de symétrie, j'ai donné (2) une explication du dimorphisme qui me paraît fondée, car on voit alors le dimorphisme se produire en quelque sorte sous les yeux de l'observateur, par les croisements du réseau dissymétrique. Mais l'exemple du sulfure de fer semble montrer que cette explication ne suffit pas pour tous les cas, car le réseau de la marcasite ne paraît pas pouvoir être considéré comme très-voisin du réseau cubique de la pyrite.

L'observation très-importante de M. Sadebeck sur les cristaux régulièrement associés de marcasite et de pyrite montre de la manière la plus évidente que l'axe vertical de la marcasite correspond à un axe cubique de la pyrite. Or si l'on prend pour unité l'axe vertical, les paramètres de la marcasite deviennent :

$$0{,}621 : 0{,}810 : 1.$$

(1) J'appelle axes hémi-quadratiques les axes perpendiculaires aux faces du cube et qui seraient quadratiques si l'hémiédrie n'en avait affaibli le degré de symétrie.

(2) *Ann. des mines*, 7e série, t. X, 1876.

La demi-somme des deux paramètres horizontaux est alors égale à 0,715, ou très-sensiblement à $0,707 = \frac{\sqrt{2}}{2}$, ce qui est la longueur d'un demi-axe binaire de la pyrite. On peut donc passer du réseau de la marcasite au réseau de la pyrite, en supposant que les paramètres des deux axes binaires de la première s'égalisent en devenant égaux à leur valeur moyenne (1).

Si les choses se passent réellement ainsi, lorsque des cristaux de marcasite et de pyrite s'assemblent. Il faut, pour qu'il y ait entre les réseaux des deux substances le parallélisme le plus complet possible, que l'axe vertical de la marcasite, se plaçant dans une position parallèle à un axe cubique, le plan réticulaire horizontal se place de telle sorte que la résultante des deux axes binaires soit parallèle à la résultante de deux axes binaires de la pyrite, ou bien de telle sorte que les axes binaires de la marcasite soient parallèles aux axes binaires de la pyrite. Or ce sont précisément les deux positions relatives que les observations de M. Sadebeck assignent aux cristaux des deux substances.

Ce rapprochement peut être appuyé par une observation toute récente de M. Sadebeck (2), qui a trouvé des cristaux de mispickel portant des cristaux de pyrite. L'axe vertical du mispickel coïncide encore avec un axe hémi-quadratique, et un axe binaire de la pyrite avec la résultante des axes horizontaux du mispickel. Si, d'autre part, on prend les paramètres du mispickel déduits des mesures de M. Arzruni, on trouve, en moyenne :

$$a : b : c = 0,571 : 0,840 : 1.$$

Bien que les paramètres horizontaux du mispickel s'écartent assez notablement de ceux de la marcasite, on a encore :

$$\frac{0,571 + 0,840}{2} = 0,705,$$

c'est-à-dire presque rigoureusement $\frac{\sqrt{2}}{2}$.

Cette remarque m'a paru curieuse, mais elle est extrêmement loin d'être une explication du dimorphisme de la pyrite, car il resterait à connaître le point fondamental, c'est-à-dire le mécanisme au moyen duquel les deux paramètres de la marcasite peuvent s'égaliser entre eux.

(1) Il faut, pour cela, supposer que la pyrite appartient au mode octaédral dans lequel les faces du cube sont centrées; rien ne contredit cette manière de voir.
(2) *Pogg. Ann.*. 1878.

De la cristallisation des sulfures métalliques. — Hémitropie des cristaux hémiédriques à faces inclinées.

Lorsqu'un cristal est hémiédrique, les deux formes conjuguées dont la réunion donnerait la forme holoédrique sont des formes distinctes l'une de l'autre; mais elles sont encore toutes les deux des formes simples et peuvent, à ce titre, se présenter toutes les deux dans la cristallisation de la substance; seulement, ainsi qu'il arrive presque toujours pour deux formes simples différentes, l'une a une importance physique supérieure à celle de l'autre et se présente avec une fréquence plus grande et un plus grand développement; c'est ainsi que se marque au dehors la dissymétrie de l'édifice interne. De plus, ainsi qu'il arrive encore pour deux formes simples différentes, les propriétés physiques des faces ne sont plus les mêmes de l'une à l'autre forme : tandis que les faces de l'une portent des stries croisées d'une certaine façon, celles de l'autre n'en portent pas ou en portent de croisées d'une façon différente; tandis que l'éclat des faces d'une forme est vif, celui des faces de l'autre est mat, etc. Si l'on prend un cristal hémiédrique à formes conjuguées superposables, on pourra appeler *formes de première orientation* celles qui ont ordinairement dans le cristal le plus grand développement, et *formes de seconde orientation* celles qui sont conjuguées des premières. En examinant avec soin les propriétés physiques qui distinguent les faces de ces formes, on pourra souvent assigner aux formes de première orientation et à leurs conjuguées des caractères qui permettront en général de les distinguer l'une de l'autre, même lorsque le développement relatif des faces des deux formes ne sera plus le même que dans les cristaux pris pour types.

Dans les dernières années de sa longue et belle carrière, G. Rose s'était occupé de ce genre de recherches et avait étudié à ce point de vue la pyrite de fer.

M. *A. Sadebeck*, qui s'honore avec raison d'être l'élève de G. Rose, a, dans divers mémoires (1), appliqué le procédé d'investigation de son maître à plusieurs substances qui présentent l'hémiédrie tétraédrique, telles que la blende, le cuivre gris, dans le système régulier, et la pyrite cuivreuse dans le système quadratique. Ces mémoires sont déjà anciens, et je n'aurais pas à en parler si M. Sadebeck n'avait, dans un travail récent (2), résumé les

(1) *Zeit. der Deutsch. Geol. Ges.*, 1868-1869-1872.
(2) *Zeit. der Deutsch. Geol. Ges.* 1878.

conclusions de ses précédents mémoires et complété ses observations en ce qui regarde la blende. Je laisserai de côté la description des caractères souvent assez fugitifs qui permettent de distinguer une forme hémiédrique de sa conjuguée, pour ne parler que des phénomènes hémitropiques des substances à hémiédrie tétraédrique.

Dans les cristaux tétraédriques du système régulier, comme la blende et le cuivre gris, il y a deux lois d'hémitropie.

Suivant la première loi, l'axe d'hémitropie est un axe ternaire (parallèle à une diagonale du cube); suivant la deuxième loi, l'un des cristaux a tourné, par rapport à l'autre, de 90 degrés autour d'un axe cubique. Bravais a depuis bien longtemps expliqué la deuxième loi, qui donne deux tétraèdres conjugués se pénétrant mutuellement, en faisant voir que les réseaux de ces deux formes conjuguées peuvent, en effet, se pénétrer mutuellement sans que l'équilibre moléculaire soit notablement changé. M. Sadebeck fait rentrer à tort ce genre particulier de groupement dans le cas ordinaire, en imaginant une hémitropie autour d'un axe binaire.

Quant à la première loi, elle semble, au premier abord, rentrer dans l'hémitropie ordinaire; mais elle s'en distingue profondément par ce fait, que le plan d'assemblage des deux cristaux est toujours, à un très-petit nombre d'exceptions près, non pas le plan a^1 normal à l'axe d'hémitropie, mais le plan a^2 qui contient cet axe. Les deux cristaux accolés sont alors symétriques, au moins théoriquement, par rapport au plan d'assemblage. Il n'en serait plus ainsi si ce plan d'assemblage était, comme il arrive d'ordinaire, le plan normal à l'axe, car le cristal est hémiédrique à faces inclinées, et les faces qui, dans le cas général de l'hémitropie, deviennent, après la rotation, symétriques par rapport au plan d'hémitropie des faces restées immobiles, sont celles qui leur étaient parallèles avant la rotation.

Cette anomalie à la loi ordinaire de l'hémitropie s'explique aisément. On en comprend d'abord la possibilité, car, dans le plan réticulaire a^2 (qui est un des plans les plus simples du cristal), le réseau a pour maille un rectangle dont un côté est un axe binaire et l'autre l'axe ternaire. On peut donc faire tourner le plan réticulaire autour de l'axe ternaire sans que la position des nœuds du plan soit changée; ce qui est, dans les idées de Bravais, la condition nécessaire pour que l'axe ternaire soit un axe d'hémitropie et la face a^2 une face d'assemblage. Dans les cristaux holoédriques, l'axe d'hémitropie est encore l'axe ternaire; mais le plan d'assemblage, qui est alors un plan de symétrie, est le plan a^1 nor-

mal à l'axe d'hémitropie. Il semble donc évident que, si la nature n'emploie pas le même plan d'assemblage avec les cristaux tétraédriques et lui substitue le plan a^2, c'est que ce plan est le seul par rapport auquel les deux parties du cristal hémitrope peuvent être symétriques. On a ici un nouvel et frappant exemple de la tendance générale des formes cristallines vers la symétrie (1).

Les mâcles de la pyrite cuivreuse qui possède l'hémiédrie tétraédrique du système quadratique pseudo-cubique, sont analogues à celles des cristaux hémièdres tétraédriques du système régulier. Il peut y avoir une hémitropie autour d'un axe normal à une face tétraédrique $b^{\frac{1}{2}}$. Le plan d'assemblage est $b^{\frac{1}{2}}$, mais la symétrie n'existe plus au sens physique, de part et d'autre de ce plan, car, dans une moitié du cristal, les faces du tétraèdre à faces mates, considéré comme positif, sont symétriques, par rapport au plan d'assemblage, des faces du tétraèdre à faces brillantes considéré comme négatif. La symétrie approchée est obtenue dans ce cas par la présence simultanée des deux tétraèdres conjugués. Les deux autres lois de l'hémitropie sont une hémitropie dans le sens ordinaire, autour d'une normale à une face de l'octaèdre a^1, et enfin l'enchevêtrement de deux édifices réticulaires dont l'un a tourné de 90° autour de l'axe vertical.

— *M. Sadebeck*, continuant des observations commencées pendant les dernières années de sa vie par G. Rose, a publié un Mémoire étendu sur la cristallisation du diamant (2). Il a montré que l'hémiédrie, que l'on admet pour ce minéral, ne repose pas sur des faits probants. La principale raison qui a fait considérer le diamant comme hémiédrique est une disposition qui se présente assez souvent, et qui montre les huit faces de l'octaèdre séparées l'une de l'autre par des espèces de sillons profonds, dont les deux parois sont formées par des plans cristallins mal définis. L'ensemble a quelque analogie avec le croisement de deux tétraèdres conjugués obtenus en faisant tourner l'un d'eux de 90° autour d'un axe cubique. M. Sadebeck pense que cette interprétation du phénomène n'est pas exacte, et que les sillons profonds observés sur le cristal, et qu'on a pris pour des angles rentrants, sont produits par

(1) On peut conjecturer, sans trop de témérité, qu'à un degré plus grand de symétrie correspond une stabilité plus grande de l'édifice moléculaire, et que c'est là la cause mécanique qui permet à la nature inorganique d'atteindre plus ou moins complétement la symétrie vers laquelle elle tend.

(2) *Mon. der K. Ak. der Wiss. zu Berlin*, octobre 1876, et *Zeit. der D. Geol. Ges.* 1877-1878.

ne structure lamellaire parallèlement aux faces de l'octaèdre, onnant quelque chose de comparable à la structure en trémies.

— M. *Hirschwald* (1), dont le travail a paru presque en même emps que celui de M. Sadebeck, est arrivé, de son côté, à des conlusions identiques. Il a trouvé des cristaux d'argent natif présentant la même disposition que celle que l'on considère à tort comme une hémitropie hémiédrique du diamant.

M. Hirschwald a en outre fait connaître très-sommairement quelques observations sur les phénomènes que présentent les diamants par rapport à la lumière polarisée. En employant le secours de lames sensibles de gypse, il a constaté que la plupart des diamants montrent, principalement suivant une direction parallèle à un axe ternaire, une influence dépolarisante. Les plages d'une même lame, colorées différemment, sont limitées plus ou moins exactement par des droites inclinées les unes sur les autres de 60° et 180°, et parallèles aux côtés de l'octaèdre. Le diamant n'est donc pas rigoureusement cubique, et les cristaux sont des groupements qu'il serait curieux d'étudier.

— M. *Aszruni* (2) a mesuré les angles de nombreux cristaux de mispickel provenant de gisements différents. En comparant ces mesures avec des analyses chimiques, soit faites par l'auteur lui-même soit empruntées à d'autres observateurs, M. Aszruni a dressé le tableau suivant :

LOCALITÉS.	*a* : *b* : *c*.	Fe.	S.	DENSITÉ.
Reichenstein.	0,671 : 1 : 1,189	34,68	18,05	5,898
Marienberg.	0.673 : 1 : 1,188	—	—	—
Mitterberg.	0,674 : 1 : 1,188	32,52	21,36	—
Freiberg I.	0,677 : 1 : 1,193	—	—	—
Hohenstein.	0,677 : 1 : 1,188	35,07	19,41	6,192
Ehrenfriedersdorf.	0,678 : 1 : 1,192	—	—	—
Variété *plinienne* de Breithaupt.	0,680 : 1 : 1,197	34,46	20,08	6,30
Joachimsthal.	0,682 : 1 : 1,172	—	—	—
Freiberg II.	0,683 : 1 : 1,146	35,026	20,83	6,035
Binnenthal.	0,692 : 1 : 1,194	34,92	22,47	6,091

On voit que les paramètres des axes varient notablement, et il est remarquable que la variation porte peu sur le rapport des axes *a* : *b*; elle est presque tout entière reportée sur le rapport de *c* aux deux autres. Les variations angulaires ne paraissent d'ailleurs pas correspondre à des variations dans la composition chimique.

(1) *Zeit. für Kr.* I, 2, 1878.
(2) *Zeit. für Kr.* II, 4 et 5, 1878.

— Le sulfure d'argent Ag^2S et le sulfure de cuivre Cu^2S sont les dimorphes; ils peuvent cristalliser l'un et l'autre dans le système régulier (sulfure de cuivre artificiel et argentite), et dans le système rhombique pseudo-hexagonal (chalcosine et acanthite). Les prismes primitifs de ces deux dernières substances sont d'ailleurs voisins l'un de l'autre, car on a :

Chalcosine.	0,5822 : 1 : 0,9709
Acanthite (1).	0,570 : 1 : 0,800

La différence entre les longueurs des axes verticaux peut paraître forte, mais d'une part les mesures faites sur ces cristaux toujours très-enchevêtrés et à faces très-striées sont peu précises; de l'autre on sait que l'isomorphisme se manifeste réellement dans des mélanges tels que la stromeyerite (Cu^2S, Ag^2S), dont les paramètres :

0,5831 : 1 : 0,9206.

sont intermédiaires entre celles de la Chalcosine et celles de l'acanthite, ou tels que les mélanges cités par Domeyko et Lampadius, dans lesquels la proportion d'argent peut varier de 5 à 29 p. 100.

On rencontre des composés qui renferment non plus des sulfures de cuivre et d'argent, mais du sulfure de fer et du sulfure d'argent, et qui sont cependant isomorphes avec l'acanthite et la chalcosine. Telle est la sternbergite, $Ag^2S + Fe^6S^7$ ou $Ag^2S + Fe^4S^5$, qui est rhombique et pseudo-hexagonale avec des paramètres :

0,5831 : 1 : 0,8387.

M. *Streng* (2) pense que ces composés sont des mélanges isomorphes de pyrrhotine, dont la formule chimique assez variable, est Fe^nS^{n+1}, avec l'acanthite. M. Streng démontre d'abord, par l'examen cristallographique, que la variété de sternbergite qu'on a

(1) Les axes auxquels on rapporte ordinairement l'acanthite, d'après Dauber, donnent un prisme de 110° 54′ avec un octaèdre fondamental $b^{\frac{1}{2}}$ dont les faces font avec la base un angle de 120° 36′. Il est aisé de voir, en construisant la projection gnomonique des pôles, que l'axe de la zone $pb^{\frac{1}{2}}$ est sensiblement une rangée. On peut donc prendre pour axes rectangulaires ou sensiblement rectangulaires : 1° la normale à une face $b^{\frac{1}{2}}$, la normale à p et l'axe de la zone $pb^{\frac{1}{2}}$; j'ai obtenu ainsi, en prenant ce dernier axe pour axe vertical, les paramètres admis dans le texte. C'est la seule manière d'expliquer l'isomorphisme entre Cu^2S et Ag^2S admis, mais non démontré par M. Streng.

(2) *N. Jahrb.*, 1878 8.

désignée sous le nom de silberkies et qui, d'après son analyse, a la composition Ag^2S, Fe^4S^5, est légèrement magnétique et n'est point hexagonale comme quelques-uns l'avaient pensé, mais bien rhombique et pseudo-hexagonale. Il admet pour les constantes du silberkies :

$$0,5812 : 1 : 0,27487.$$

ou, en multipliant par 3 l'axe vertical, ce qui est très-permis, car les octaèdres qui terminent le cristal sont nombreux, d'importance physique presque égale et il est très-difficile de choisir, par des raisons sérieuses, celui qu'on appelle l'octaèdre fondamental $b^{\frac{1}{2}}$:

$$0,5812 : 1 : 0,825.$$

Or la pyrrhotine est considérée comme hexagonale, avec les axes :

$$1 : 1 : 1 : 0,862.$$

Si nous la considérons comme pseudo-hexagonale, les axes rectangulaires sont donc :

$$0,577 : 1 : 0.862.$$

Les axes du silberkies et de la sternbergite sont donc bien intermédiaires entre ceux de la pyrrothine et ceux de l'acanthite.

M. Streng (1) a cherché à montrer que la pyrrhotine est réellement pseudo-hexagonale, sans trouver de raisons péremptoires, mais ses conclusions, en ce qui regarde la stromeyerite et le silberkies n'ont pas besoin de cette démonstration.

— Le *glaucodot* est un sulfoarseniure de cobalt $CoSAs$; qui est une forme rhombique dimorphe de la cobaltine pyritoédrique. Le glaucodot se trouve en très-grands cristaux mâclés à Hakansbö. Ils montrent d'après M. *Lewis* (2), les formes m, h^1, a^1, e^2, e^1, $e^{\frac{1}{2}}$, $b^{\frac{1}{2}}$ et $\left(b^1 b^{\frac{1}{3}} b^{\frac{1}{2}}\right)$. On a :

$$mm = 110^\circ\ 20' \qquad a^1a^1 \text{ sur } p = 61^\circ\ 1'$$
$$a : b : c = 0,696 : 1 : 1,1813$$

Les mâcles obéissent à deux lois ; le plan d'hémitropie peut-être m ou a^1. Dans ce dernier cas, l'angle de deux plans a^1 étant voisin de 60°, on peut avoir des groupements de trois cristaux analogues

(1) *N. Jahrb.* 1878, 9.
(2) *Zeit. für Kr.*, I, 1, 1877.

à ceux qui sont connus dans les cristaux rhombiques pseudo-hexagonaux. Le British Muséum possède un échantillon qui montre un semblable groupement donnant au cristal une apparence hexagonale.

En comparant les constantes cristallographiques du glaucodot avec celles du mispickel, on voit que les formes primitives de ces deux substances sont extrêmement voisines l'une de l'autre, mais la substitution du cobalt au fer augmente les paramètres des axes horizontaux.

— La *binnite* ($3Cu^2S + 2As^2S^3$) trouvée dans la dolomie de la vallée de Binnen près d'Imfeld, cristallise dans le système régulier. D'après l'examen d'un bel exemplaire du musée de Londres, sur lequel 6 octants étaient visibles, M. *Lewis* (1) admet l'hémiédrie tétartoédrique du minéral. Toutefois cette hémiédrie n'a été constatée que sur les formes a^4, a^6. a^7, a^{10}, $a^{\frac{2}{3}}$. Les formes a^1 et a^2 étaient holoédriques.

— M. *Schrauf* (2), dans un mémoire étendu, a fait connaître de nombreuses observations sur les minerais de tellure de la Transylvanie. Les espèces sont au nombre de 5 :

Sylvanite.	(Au, Ag) Te^2.
Krennerite.	Composition inconnue.
Nagyagite.	Tellurure de plomb et d'or.
Hessite.	Ag^2Te.
Stützite.	Ag^4Te^2 (nouvelle espèce).

M. Schrauf confirme la forme clinorhombique de la *sylvanite* qu'il avait niée et que lui avait attribuée M. von Kokscharow. On a :

$$a : b : c : = 1{,}63394 : 1 : 1{,}12653, \quad xz = 90°\ 25'.$$

Les cristaux sont en général fort compliqués. On observe assez souvent des hémitropies autour d'un axe normal à $d^{\frac{1}{2}}$.

Pour la *nagyagite*, M. Schrauf croit qu'il convient de substituer au prisme quadratique le prisme rhombique comme forme primitive. Les paramètres seraient :

$$a : b : c : = 0{,}2807 : 1 : 0{,}2761.$$

Pour la *hessite*, M. Schrauf croit devoir adopter le système ré-

(1) *Zeit. für Kr.* II, 2.
(2) *Zeit. für Kr.* II, 3.

gulier qu'avait déjà admis G. Rose, tandis que Hess prenait le système régulier et Kengott le système rhombique. Il a observé les formes a^1, p, b^1, a^2 et b^2. La hessite serait donc isomorphe à l'argentite Ag^2S.

Je parlerai, dans le paragraphe consacré aux espèces nouvelles, du tellurure nouveau auquel M. Schrauf donne le nom de *stützite*.

Arséniates métalliques.

M. *Weissbach* avait, en 1871, désigné sous le nom de *Walpurgine*, un minéral dont la composition complexe est représentée par la formule :



$$As^2O^5(Bi^2, U^2)O^3 + 2Bi^2O^32H^2O + U^2O^3H^2O.$$

Il en a donné (1) une description minéralogique, en revenant sur quelques-unes des conclusions d'un mémoire précédent. Le système est asymétrique. Les cristaux ressemblent à des cristaux de gypse ; aplatis parallèlement à g^1, portant les faces m, p, et mâclés parallèlement à g^1, suivant la loi de l'albite. Les faces p de chacune des deux moitiés hémitropes figurent ainsi un biseau incliné qui semble terminer un cristal clinorhombique. Les formes ne sont pas assez nombreuses pour déterminer tous les paramètres. On a :

$$a : b = 0,6862 : 1.$$

$yz = 70°\ 44'$ $xz = 114°\ 8'$ $xy = 85°\ 30'$ (dans l'octant antérieur supérieur droit).
$X = 70°\ 53'$ $H = 114°\ 1'$ $Z = 86°\ 6'$
$mg^1 = 120°\ 58'$ $mp = 99°\ 20'$.

Une lame parallèle à h^1 s'éteint, d'après M. Groth, suivant une direction qui fait un angle de 8° avec l'arête verticale.

— L'arséniate de zinc hydraté (As^2O^54ZnO,H^2O) ou *Adamine* n'avait jusqu'à présent été rencontré qu'à Chañarcillo (Chili) et dans la mine de la Garonne, entre Toulon et Hyères. M. *Des Cloizeaux* (2) a signalé un autre gisement de ce rare minéral dans les minerais de zinc du Laurium. Les cristaux, toujours très-petits, n'ont pas plus de 2 à 3 millimètres de longueur. Ils ont une couleur verte due à la couleur du cuivre. Ils sont assemblés en mâcles de 3 individus qui se pénètrent en laissant entre eux des angles rentrants d'environ 60°. Le plus souvent ils se présentent en groupes étoilés se rapprochant de la forme globulaire.

(1) *Neues Jahrb. für Min.* 1877, 1.
(2) *C. R.*, 86, 1878 et *Bull. Soc. Min.*, 1878, 2.

La forme dominante est encore un octaèdre rectangulaire ; mais cet octaèdre se compose des faces a^1 et g^3, ces dernières étant toujours les plus développées, et l'octaèdre est généralement allongé suivant l'axe vertical. Les angles sont sensiblement les mêmes que ceux des cristaux de Chañarcillo. La bissectrice aiguë est normale à l'arête obtuse des faces g^3. Les axes optiques sont très-écartés; l'angle d'écartement dans l'air est de 100° à 108°, autant que peuvent permettre de le mesurer les enchevêtrements des cristaux.

— La *cabrérite* est un arséniate hydraté de nickel $As^2O^5 3NiO + 8H^2O$ dans lequel l'oxyde de nickel peut être remplacé par de l'oxyde de cobalt et de la magnésie. On le connaissait dans les mines de la Sierra Cabrera; MM. *Des Cloizeaux* et *Damour* (1) en ont signalé l'existence dans les mines calaminaires du Laurium avec l'adamine verte. La substance se montre en veinules et en petits noyaux à structure radiée, dans un calcaire magnésien ferrugineux mélangé d'argile et de quartz, tout à fait semblable à la gangue du minérai d'Espagne. M. Damour en a donné une analyse dans laquelle il a trouvé 4,64 de magnésie, 2,01 de protoxyde de fer et pas de cobalt. M. Des Cloizeaux a fait connaître quelques-uns des caractères cristallins de cette substance, d'un beau vert pomme, qui se clive facilement suivant une direction, en donnant des lames dont l'aspect rappelle celui de l'érythrine ($As^2O^5 3CoO + 8H^2O$). Les lames représentent une section, par le plan de symétrie, de deux faces faisant entre elles un angle d'environ 125° à 125°,20' (124°,51' dans l'érythrine) et dont l'une peut être regardée comme la base p et l'autre comme le plan h^1. L'isomorphisme avec l'érythrine est aussi complet sous le rapport optique que sous le rapport cristallographique.

Silicates.

On connaît les curieuses anomalies cristallographiques de la *humite*, qui est une sorte de péridot fluorifère. Le savant minéralogiste de Naples, M. Scacchi, et M. Marignac avaient cru pouvoir expliquer ces anomalies en rapportant les cristaux à trois types. Le 1er de ces types portait des modifications $e^{\frac{m}{7}}$, $a^{\frac{m}{7}}$, $b^{\frac{m}{7}}$; le 2e des modifications $e^{\frac{m}{5}}$, $a^{\frac{m}{5}}$, $b^{\frac{m}{5}}$; le 3e enfin des modifications $e^{\frac{m}{9}}$, $a^{\frac{m}{9}}$, $b^{\frac{m}{9}}$. En d'autres termes, la grandeur de l'axe vertical de la forme primitive paraissait varier d'un type à l'autre, en restant dans des rapports rationnels.

(1) *Bull. Soc. Min.*, 1878, 5.

M. *Des Cloizeaux* (1), par un examen attentif des cristaux de humite de la Somma et de la variété nommée chondrodite a été amené par l'examen optique et l'examen cristallographique à constater que le premier type de Scacchi est seul rhombique, les deux autres sont monocliniques. Les 3 types ont alors les constantes cristallographiques suivantes:

Type I. — $a:b:c = 1:0,4635:2,0380$ $mm = 130°19'$.

Plan des axes optiques parallèles à p; bissectrice normale à h^1; angle des axes dans l'air 78° à 79°. Les lames parallèles à h^1 montrent des plages irrégulières dans lesquelles l'extinction est imparfaite et qui consistent, suivant l'auteur, en lamelles de humite du 3e type.

Type II. — $a:b:c = 2,1663:1:1,6610$ $xz = 108°58'$

Type III. — $2,1634:1:1,4422$ $xz = 108°48'$

L'auteur propose de conserver le nom de *humite* au 1er type, celui de *chondrodite* au 2e et de donner celui de *clinohumite* au 3e.

Je ne poursuis pas plus loin l'analyse du travail important de M. Des Cloizeaux, mais j'aurai sans doute l'occasion d'y revenir, car l'auteur nous fait espérer un mémoire plus étendu sur ce sujet.

— On sait que l'*anthophyllite* est un bisilicate SiO^2RO, dans lequel les bases protoxydes sont presque exclusivement de la magnésie et du protoxyde de fer. Ce minéral se rapproche de l'amphibole par ses clivages inclinés de 125 degrés l'un sur l'autre; il en diffère par sa symétrie rhombique. Il est, par rapport à l'amphibole, ce que l'enstatite ou l'hypersthène est au pyroxène. M. *Des Cloizeaux* (2), qui a le premier fixé ce point intéressant, a observé des masses bacillaires radiées provenant de Bamle, et qui, tout en ayant les caractères principaux des anthophyllites déjà connues de Kongsberg, Modum et Bodenmais, s'en distinguent par le clivage moins facile suivant h^1, et par la modification de quelques-uns des caractères optiques. La bissectrice aiguë de Bamle est située dans la position occupée par la bissectrice obtuse de Kongsberg. Les axes optiques, dont l'observation est rendue difficile dans les cristaux de Bamle par l'enchevêtrement de lamelles différemment orientées, ont un écartement plus faible qu'à Kongsberg.

M. Pisani a montré, par l'analyse, que l'anthophyllite de Bamle contient une forte proportion d'alumine (12,40 p. 100), ainsi qu'il arrive souvent pour les cristaux de hornblende.

(1) *Phil. Mag.* 5, série II, et N. *Jahrb.* 1877, 5.
(2) *C. R.* 84. 1877.

— On avait signalé depuis longtemps un minéral fibreux provenant de l'île Syra, et auquel sa jolie couleur bleue, semblable à celle du disthène, avait fait donner le nom de *glaucophane*. Cette matière, disséminée dans un schiste amphibolique, difficile à séparer des minéraux qui l'accompagnent, était peu connue, et l'on n'avait même que des idées peu nettes sur sa composition chimique. M. Heurteau, ingénieur des mines, a rencontré ce minéral dans la Nouvelle-Calédonie et en a rapporté de beaux échantillons. Dans ce pays, comme à Syra, il forme un des éléments importants d'une roche schisteuse ancienne. Cette substance a encore été rencontrée à Zermatt dans des conditions analogues. Ce n'est donc plus une rareté minéralogique, mais un minéral de quelque importance dans la composition des roches anciennes.

M. *Bodwig* (1) a reconnu que les lamelles fibreuses de Zermatt montrent dans la zone g^1h^1 les faces m, h^1, g^1, rarement terminées par le pointement p, $b^{\frac{1}{2}}$; le plan g^1 est parallèle à un plan de symétrie; il y a deux clivages suivant les faces m faisant entre eux un angle de 124°30′ très-voisin de celui des clivages de l'amphibole. Les axes optiques situés dans le plan g^1 sont ouverts dans l'air de 84°42′ et dans l'huile de 51°3′ pour les rayons rouges; de 86°39′ et 51°24′ pour les rayons verts. La bissectrice aiguë, située dans le plan g^1, est négative et coupe l'angle aigu des axes cristallographiques a et c, en faisant avec c un angle de 4°13′ environ (2).

Le glaucophane est très-fortement polychroïque; l'axe optique a_0 est jaune verdâtre, l'axe b_0 est violet, l'axe c_0 bleu d'outremer. Densité = 3,0907. Dureté = 6,5.

Composition chimique :

Silice	57,81
Alumine	12,03
Sesquioxyde de fer	2,17
Protoxyde de fer	5,78
Magnésie	13,07
Chaux	2,20
Soude	7,33
	100,45

Fusion facile en un verre grisâtre.

Si l'on admet que l'oxygène de l'alumine peut remplacer celui

(1) *N. Jahrb.* 1876, page 771.

(2) Dans l'amphibole le plan des axes optiques est aussi parallèle à g^1, la bissectrice aiguë dirigée dans l'angle obtus ac fait, avec l'axe c, un angle de 75°. L'angle des axes est de 99° à 100° dans l'air.

des bases protoxydes, la formule est celle d'un bisilicate SiO^2,RO. Le glaucophane n'est donc, au point de vue cristallographique comme au point de vue chimique, qu'une amphibole riche en alumine et pauvre en chaux, et dont les caractères optiques sont un peu différents de ceux de la trémolite.

— On sait que la forme cristalline du *disthène* était restée jusqu'ici imparfaitement connue, parce qu'on ne connaissait aucun échantillon montrant, en nombre suffisant, des formes cristallines coupant les arêtes du prisme. M. *G. vom Rath* vient de combler cette lacune (1) grâce à la découverte d'un très-petit cristal du Greiner (Tyrol), implanté dans une petite druse formée par un aggrégat de disthène, de grenat et de quartz. Sur ce petit cristal, qui n'a guère que 2 millimètres de longueur, un demi-millimètre de largeur et un quart de millimètre d'épaisseur, on a pu observer et mesurer des faces nombreuses.

Les constantes cristallographiques sont les suivantes :

$$a : b : c : = 0{,}9164 : 1 : 0{,}70996$$

$$yz = 90^\circ\ 0' \qquad xz = 100^\circ\ 48'\tfrac{1}{2} \qquad xy = 106^\circ\ 23'\tfrac{1}{4}$$

$$\xi = 86^\circ\ 46'\tfrac{1}{2} \qquad \eta = 78^\circ\ 43'\tfrac{1}{2} \qquad \zeta = 73^\circ\ 19'\tfrac{1}{2}$$

M. vom Rath fait remarquer qu'avec ces données la cristallisation du disthène s'approche beaucoup d'être rhombique, non pas par la symétrie de l'édifice cristallin, mais par l'inclinaison mutuelle des axes cristallographiques, ou, pour employer l'expression de Bravais, des rangées du réseau. Il existe, en effet, dans ce réseau, trois rangées rectangulaires ou très-sensiblement rectangulaires, qui sont :

1° Une normale à la face h^1 ;

2° Une parallèle à l'intersection des faces g^1 et h^1 ;

3° Une parallèle à l'intersection des faces p et h^1.

Il est vrai que ces rangées ne sont pas des axes de symétrie; l'édifice cristallin n'est donc pas rhombique, mais le réseau formé par les centres de gravité des molécules l'est. En d'autres termes, la cristallisation du disthène a pour caractéristique *d'être une* TÉTARTOÉDRIE *du système rhombique*. Les trois axes cristallographiques, qui sont des axes de symétrie du réseau, mais non pas de la molécule, sont des axes pseudosymétriques, et le disthène rentre ainsi dans une classe de substances dont le nombre s'accroît chaque jour, celle des substances à *forme limite*.

(1) *Bulletin de la Soc. Min.*, I, 4, 1878, et *Zeit. für Kr.*, III, 1.

Les propriétés cristallographiques du disthène, que je viens de résumer d'après les indications du beau mémoire de M. Vom Rath, sont, comme je demanderai la permission de le montrer, d'un grand intérêt théorique.

J'ai déjà eu l'occasion, dans ce recueil, de parler incidemment de la belle théorie de l'hémitropie, due à Bravais. Suivant cette théorie, ce qui explique la possibilité de l'hémitropie, c'est que, si l'on considère le plan parallèle au plan d'hémitropie et qui contient des molécules dont les centres de gravité occupent les nœuds d'un réseau à maille parallélogrammique, ces nœuds reviennent occuper les mêmes positions lorsqu'on fait faire au plan un demi-tour autour d'un axe de rotation normal au plan et passant par un nœud. Les centres de gravité des molécules qui occupent les deux plans réticulaires situés en regard et appartenant respectivement aux deux parties du cristal hémitrope se trouvent ainsi, après la rotation fictive, dans la même position relative que dans le reste du cristal.

Il semble donc, d'après cette explication, que la mâcle exige un axe d'hémitropie normal au plan d'hémitropie. C'est en effet ce qui se réalise dans la grande majorité des cas. Il y a cependant des exceptions, et Bravais, en les signalant, appelait sur elles l'attention des cristallographes. J'ai déjà montré dans ces *Annales*, qu'une des exceptions les plus connues, celle de la mâcle de l'orthose par hémitropie autour de l'arête verticale g^1h^1 (*Loi* de Carlsbad), non parallèle à une forme simple, et dans laquelle, d'ailleurs, les cristaux ne se superposent pas suivant le plan normal à l'axe d'hémitropie, s'explique d'une manière très-simple, par ce fait que le plan réticulaire g^1 de l'orthose, a sensiblement pour maille un rhombe ou un rectangle à faces centrées; l'une des diagonales du rhombe ou l'un des côtés du rectangle est précisément la direction de l'arête verticale g^1h^1. On conçoit ainsi que la rotation du réseau du plan g^1 autour de la direction g^1h^1, ramène les nœuds du réseau plan aux mêmes positions de l'espace; il peut donc y avoir, d'après la théorie même de Bravais, hémitropie de l'orthose autour de g^1h^1, et superposition des deux parties hémitropes, suivant la face g^1, ce qui est précisément la définition de l'hémitropie suivant la loi de Carlsbad. Il est, dans ce cas, rigoureusement exact de dire que l'exception confirme la règle.

Il faut ajouter, d'ailleurs, que si la configuration du réseau de l'orthose explique la possibilité de l'hémitropie autour de l'arête verticale, elle en explique aussi la raison d'être; car la maille du réseau du plan de symétrie g^1 étant un rectangle, les deux côtés

du rectangle sont des axes de pseudosymétrie binaire. La rotation d'une partie du système réticulaire autour d'un de ces axes et la superposition à la première, de la seconde orientation ainsi obtenue, tend donc à rapprocher le cristal de la symétrie dont approche son réseau. Cette tendance est, comme je crois l'avoir démontré, une loi générale qui détermine les principales circonstances de la cristallisation dans les cristaux pseudo-symétriques.

Des considérations analogues doivent s'appliquer au disthène, puisque le réseau du disthène présente, comme celui de l'orthose, trois directions sensiblement rectangulaires. Dans cette substance, la nature pourra et devra même réaliser des hémitropies autour de ces trois directions qui sont :

1° Une droite normale à la face h^1 ;

2° Une droite parallèle à l'intersection des faces g^1 et h^1 ;

3° Une droite parallèle à l'intersection des faces p et h^1.

La première hémitropie est une hémitropie dans le sens strict du mot ; mais les deux autres sont des hémitropies autour d'arêtes non rigoureusement normales à des faces cristallines, avec des plans de superposition parallèles et non pas normaux à l'axe d'hémitropie.

Or, ces trois mâcles sont très-anciennement connues dans le disthène et constituent un phénomène tellement fréquent, qu'elles sont un des traits principaux de la cristallisation de cette substance (1). Il est difficile de trouver une confirmation plus complète de la théorie de Bravais, ainsi que des idées au moyen desquelles j'ai proposé de la compléter.

M. vom Rath a, en outre, observé une nouvelle hémitropie du disthène, bien plus rare que la précédente, autour d'une normale à la face p (2), et enfin une cinquième hémitropie, plus rare encore, autour d'un axe normal à une face $a^{\frac{8}{3}}$. Ces deux hémitropies ne se manifestent que par de rares lamelles intercalées transversalement dans les baguettes de disthène.

— A peu près en même temps que paraissait le travail de M. vom Rath, M. *Bauer* en publiait un sur le même sujet. L'auteur a

(1) V. *Traité de minéralogie*, de M. Des Cloizeaux, t. I, p. 186. La face m (D. Cloiz.) correspond à la face h^1 (v. Rath).

(2) M. vom Rath remarque l'analogie qui existe entre les phénomènes hémitropes du disthène et ceux de l'orthose. Je viens d'en montrer la raison. L'orthose possède aussi une hémitropie autour d'un axe normal à p ; comme dans le disthène, elle est beaucoup plus rare que les autres.

calculé la forme primitive du disthène en se servant de plans de fissure qu'on peut provoquer dans les cristaux, et qui sont différents de ceux déjà connus parallèles à h^1, g^1, p. Ces plans nouveaux de fissures sont parallèles aux faces m, h^3, t, g^3, h^5, i^1, e^1. Les fissures parallèles à e^1 ont servi au calcul des paramètres qui ne diffèrent pas essentiellement, non plus que les angles des axes, de ceux qui ont été calculés par M. vom Rath. L'auteur fait d'ailleurs observer que les angles n'ont pas une fixité absolue et sont sujets à d'importantes variations qui peuvent atteindre 2° (1).

— M. *Bücking* (2) a publié une étude très-détaillée sur la cristallisation de l'*épidote*; il adopte, après une discussion attentive, les paramètres de M. v. Kockscharow :

$$a : b\ c = 1,5807 : 1 : 1,8057$$
$$xz = 180 - 64° 36' = 115° 24'$$

M. Bücking a porté ses études sur les cristaux de la plupart des gisements et a pu porter à 220 le nombre des formes actuellement connues dans l'épidote.

— M. *Strüver* (3) a étudié les cristaux d'*idocrase* du Latium au point de vue de la constance de la forme primitive. Il a trouvé pour les cristaux jaunes les paramètres 1 : 0,5372 et pour les cristaux noirs 1 : 0,5278. C'est un exemple des variations angulaires qui se présentent dans les différents échantillons de cette espèce à groupements intérieurs si curieux.

— L'*astrophyllite* est une substance analogue au mica par sa disposition en tables hexagonales avec un clivage parallèle très-facile, qui a été rencontrée dans la syénite à gros grains de Lamö, dans le Langesundfjrd. C'est un silicate qui contient du titane, du sesquioxyde de fer ainsi que des protoxydes de manganèse et de fer. Quelques minéralogistes regardent l'astrophyllyte comme une espèce de mica dans laquelle Ti^2O^3 remplacerait partiellement Fe^2O^3. D'autres en font une espèce de la série pyroxénique.

M. *Brögger* (4) a essayé de jeter quelque jour sur la question par l'étude attentive des cristaux au point de vue cristallogra-

(1) *Zeit. der Deut. Geol. Ges.* 1878, analysé par M. vom Rath dans *Zeit. für Kr.*, III, 1.
(2) *Zeit. für Kr.*, II, 4 et 5.
(3) *Zeit. für Kr.*, I, 3.
(4) *Zeit. für Kr.*, II, 3.

phique et au point de vue optique. D'après les mesures cristallographiques, le système serait asymétrique et les constantes :

$$a : b : c : = 0{,}2268 : 1 : 0{,}2908$$
$$YZ = 86° 8' \quad XZ = 90° 27' \quad XY = 89° 44'$$

C'est donc un cristal asymétrique presque monoclinique. Si l'on divise par 6 le paramètre b, et si l'on prend c pour le nouveau paramètre a, a pour le nouveau paramètre b, et $\frac{1}{6}\,b$ pour le nouveau paramètre c, on a :

$$a_1 : b_1 : c_1 = \left(c : a : \frac{1}{6}\,b\right) = 1{,}217 : 1 : 0{,}7347 \quad XZ = 86° 8'$$

ce qui est une forme possible pour une substance du groupe pyroxénique.

Cependant le clivage unique, ainsi que l'aspect général des cristaux, rapprochent la substance du mica. La série minérale à laquelle l'astrophyllite doit être rapportée reste donc encore indécise.

— La *mosandrite* (1) est un silicotitanate contenant des oxydes de cérium, de lanthane, de didyme, de la chaux, de la soude et de l'eau. M. *Brögger* a étudié sa forme cristalline et a déterminé les constantes suivantes :

$$a : b : c = 1{,}0811 : 1 : 0{,}8135 \quad xz = 108° 36'.$$

Le clivage suivant h^1 est parfait. On a observé une mâcle par hémitropie autour d'un axe normal à h^1. L'auteur pense que les analyses actuellement connues ont été faites sur un minéral décomposé. Les cristaux observés viennent de la petite île Låven, dans le Langesundfjord ; ils sont disséminés dans le leucophane.

— M. *Forstner* (2) a trouvé, dans une lave vitreuse de l'île Pantellaria, des cristaux de feldspath longs de 3 à 10 millimètres, le plus souvent aplatis suivant g^1, montrant les faces m, $e^{\frac{1}{2}}$, $a^{\frac{1}{2}}$ et $b^{\frac{1}{2}}$, tandis que p est très-subordonné et se présente seulement comme une fine bordure sur l'intersection de $e^{\frac{1}{2}}/e^{\frac{1}{2}}$ ou manque tout à fait. Les angles principaux sont les suivants :

(1) *Zeit. für Kr.*, II, 3.
(2) *Zeit. für Kr.*, I, 6.

	ORTHOSE.	ALBITE.
$mg^1 = 119° 40'$	118° 48'	119° 40'
$e^2p = 135° 38'$		
$mp = 112° 42'$	112° 16'	{ 110° 50' mp / 114° 42' tp } 112° 46 moy.

d'où l'on déduit :

$$a : b : c = 0,6358 : 1 : 0,5468 \qquad xz = 116° 22'$$

Double réfraction négative. Plan des axes optiques normal sur g^1, et bissectrice aiguë faisant avec p un angle de 8° ½ environ. Angle vrai des axes = 47° 37' à 48° 49' (angle apparent dans l'air, 75° à 77°).

La formule chimique est celle de l'orthose dans laquelle entrent 7,31 p. 100 de soude et 4,86 seulement de potasse.

Une autre orthose sodifère a été observée dans une roche analogue à l'andésite du Mᵗ Gibele. Les constantes sont :

$$a : b : c = 0,6246 : 1 : 0,5498 \qquad xz = 116° 43'$$

Cette orthose contient 7,42 p. 100 de soude, 2,53 p. 100 de potasse et 2,76 de chaux.

En comparant ses observations et quelques autres faites avant lui sur des orthoses sodifères, l'auteur dresse le tableau suivant :

NUMÉROS.	DENSITÉ.	RAPPORT KO : Na²O.	PARAMÈTRES.	180° — xz.	ANGLE de la direction d'extinction de la face p avec l'intersection pg^1.
2	2,573	$K^2O : 1/7\ Na^2O$	0,6535 : 1 : 0,5521	63° 57'	4° 35'
3	2,57	$K^2O : 1,5\ Na^2O$	0,6492 : 1 : 0,5517	63° 54'	[illegible]
4	2,55	$K^2O : 2,5\ Na^2O$	0,6358 : 1 : 0,5468	63° 38'	8° 30'
1	2,61	$K^2O : 4\ Na^2O$	0,6246 : 1 : 0,5498	63° 17'	8° 6'
		Albite. . .	0,6333 : 1 : 0,5575	63° 32'	20°

L'auteur conclut de ces rapprochements que ces orthoses sodifères correspondent à une espèce feldspathique distincte qui est à l'albite ce que l'orthose est au microcline.

— M. *Laspeyres* (1) signale des groupements d'*orthose* particuliers. Deux mâcles par rotation autour de l'arête g^1h^1 sont associées bout à bout, de manière que les plans g^1 dans les deux mâcles

(1) *Zeit. für Kr.*, I. 2, 1877.

sont dans le prolongement l'un de l'autre; mais le cristal de droite de la mâcle supérieure est orienté comme le cristal de gauche de la mâcle inférieure.

— M. *Des Cloizeaux* (1) a décrit un échantillon de feldspath de localité inconnue qui, semblable au labrador par l'angle des clivages = 93° 23', s'en distingue par les propriétés optiques. Ce feldspath, analysé par M. Pisani, a donné la composition $4SiO^2,Al^2O^3,RO$. Les protoxydes dominants sont la baryte et la soude. La baryte y entre en proportion de 7,30 p. 100.

C'est, comme on le voit, une sorte d'andésine barytique triclinique, comme l'hyalophane est une andésine barytique monoclinique.

Les lames minces, parallèles à *p*, s'éteignent suivant une direction qui fait, comme dans le labrador, un angle d'environ 5° avec pg^1. Les lames parallèles à g^1 s'éteignent suivant une direction qui fait un angle de 7° 30' environ avec la même arête. Les lames passant par l'arête aiguë pg^1 et faisant avec la base un angle de 91°30', sont à peu près exactement perpendiculaires au plan des axes optiques et à la bissectrice obtuse positive. Dans l'huile, l'angle des axes est de 100° à 101°. Autour de cette bissectrice obtuse, on constate une dispersion croisée faible et une dispersion inclinée énergique avec $\rho < v$.

Dans les oligoclases sans baryte au contraire, c'est la dispersion croisée qui est la plus forte. La bissectrice aiguë négative est presque parallèle à g^1, et perpendiculaire aux faces qui forment avec la base un angle de 87° environ. L'angle des axes dans l'huile est de 92° 2'. On a $\rho > v$ avec une dispersion horizontale faible et une dispersion inclinée très-manifeste.

— M. *Genth* (2) a aussi signalé une variété de feldspath barytique contenant 9 p. 100 de potasse, 4,43 de soude et 3,71 seulement de baryte. La formule serait $5SiO^2Al^2O^3RO$. Ce serait donc une oligoclase barytique.

Substances diverses.

M. *Buke* (3) a publié une intéressante monographie sur a cristallisation de la cassitérite (SnO^2). Il admet les constantes

(1) *Bulletin de la Soc. min.* I, 5, 1878.
(2) *Zeit. für Kr.*, I, p. 498, 1877.
(3) *Tschermak Min. Mitt.* 1877, et par extrait *Zeit. für Kr*, II, 3, 1878.

$a : c = 1 : 0,67232$. Il classe les cristaux en trois types différents :

1° Cristaux assez grands, épais, jamais allongés suivant la hauteur. Les formes m, a^1, $b^{\frac{1}{2}}$ dominent; viennent ensuite p et h^2. Groupements de trois et d'un plus grand nombre de cristaux. C'est le type des cristaux de Bohême et de Saxe.

2° Prismes allongés suivant la hauteur, avec les formes m, h^2, h^5, $b^{\frac{1}{2}}$, a_8, a^1. Mâcles plus rares, non répétées. Type du Cornouailles, de Malacca, Bornéo, Potosi.

3° Les formes dominantes sont h^5 et p, puis $b^{\frac{1}{2}}$, b^2, a^5 ; h^2 manque. Mâcles très-rares. C'est le type de Pittkaranda.

— M. *Schrauf* (1) a déterminé la forme cristalline de la *Lanarkite* ($PbOSO^3 + PbO$). Suivant lui, cette substance est monoclinique ; les constantes sont :

$$a : b : c = 0,868 : 1 : 1,383; \quad xz = 91° 49'.$$

Les faces les plus importantes sont: p, h^1, o^3, $a^{\frac{2}{3}}$, $(b^{\frac{1}{4}}\ d^{\frac{1}{2}} g^1)$. La base est le plan de clivage le plus facile. La forme cristalline se rapproche beaucoup de celle de l'Azurite.

— M. *Laspeyres* (1) a étudié la forme cristalline de la glaubérite, pour laquelle il a adopté à peu près les constantes de v. Zepharowitch

$$a : b : c = 1,220924 : 1 : 1,02703. \quad xz = 119° 10' 17''.$$

Il a fait surtout une étude approfondie des phénomènes optiques dont les principaux traits sont depuis longtemps connus, par les travaux de Sénarmont et de M. Des Cloizeaux. Ces phénomènes se modifient profondément sous l'influence de la température ; les modifications ne portent pas sur la position des axes d'élasticité optique, qui reste invariable, mais seulement sur la grandeur de ces axes.

A la température de — 1°, 7, le plan des axes optiques est, pour tous les rayons, normal au plan de symétrie avec $v < \rho$; les axes sont peu écartés. C'est l'axe d'élasticité optique maximum a_0 qui est la bisectrice aiguë. A mesure que la température augmente a_0 décroît inégalement pour toutes les couleurs, et pour chacune d'elles, il est une température à laquelle $a_0 = b_0$, et par conséquent à laquelle la glaubérite est uniaxe pour cette couleur spéciale.

(1) *Zeit. für Kr.*, I, 6, 1877.

Les températures pour lesquelles l'uniaxie est obtenue sont :

Pour la lumière bleue	17°,8
— verte (Tl)	35°,7
— jaune (Na)	45°,8
— rouge (Li)	58°,2

Au delà de 58°, 2 *b*. devient le plus petit axe d'élasticité optique ; e plan des axes optiques se confond avec le plan de symétrie ; la lispersion, qui était horizontale, devient inclinée avec $v > \rho$. A nesure que les températures augmentent, les axes optiques s'écartent et à 85°, 2, on observe une première lemniscate intérieure.

On conçoit quelles complications présentent, aux diverses températures, les courbes isochromatiques, étudiées avec la lumière blanche.

L'auteur traduit pour chaque couleur homogène les résultats de ses nombreuses mesures par des courbes dont les abscisses sont les angles des axes optiques, et les ordonnées sont les températures. Ces courbes ont un point d'inflexion pour la température qui donne l'uniaxie ; elles paraissent ensuite avoir deux asymptotes parallèles à l'axe des températures.

— M. *Bücking* (1) a soumis au microscope polarisant de minces lames de *turquoise* de la vallée de Mégara, dans le Sinaï ; on sait que la turquoise se rencontre dans cette localité au milieu des fissures d'un porphyre, avec du fer hydroxydé. La turquoise apparaît comme un aggrégat homogène, à grains très-fins, de particules biréfringentes, parsemé de parties arrondies et sombres, plus ou moins abondantes. La turquoise de Nichabur (Perse), celle du Puits de Moïse (Arabie), les turquoises allemandes de Saxe et de Silésie présentent les mêmes apparences. Il en est encore ainsi pour une variété de turquoise qui se trouve dans le commerce en joyaux polis, et qu'on désigne sous le nom de turquoise de Perse. Cette variété est en outre pénétrée par de petits noyaux de limonite, accompagnés de petits grains de quartz. Ce n'est donc pas, comme on l'avait pensé, un produit artificiel.

— M. *Damour* (2) a fait connaître de curieux échantillons de *gahnite* (Al^2O^3ZnO), qui se trouvent en grains ou en cristaux octaédriques plus ou moins roulés, dans les sables du terrain diamantifère de Minas Geraes (Brésil). La couleur de ces gahnites est le vert jaunâtre plus ou moins foncé, le vert bleuâtre et même le bleu ;

(1) *Zeit. für Kr.*, II, 2, 1878.
(2) *Bulletin de la Soc. min.*, I, 6, 1877.

mais à la lumière d'une bougie, les unes paraissent d'un rouge foncé, les autres perdent leur coloration et deviennent d'un vert très-pâle, teinté de rose ; d'autres enfin n'éprouvent pas de changement.

Cristaux à formes limites.

J'ai insisté, dans un travail publié dans ces *Annales* (tome X, 7e série, 1876), sur l'existence de substances fort nombreuses dont le réseau cristallin, sans posséder la symétrie caractéristique d'un système, a du moins une forme primitive très-voisine de celle qui possède cette symétrie. J'ai cherché à expliquer théoriquement les propriétés de ces substances cristallines, et à y rattacher les phénomènes de polysymétrie et de polyédrie, ainsi que certaines anomalies optiques. Depuis la publication de ce travail, de nombreux mémoires ont paru, en France et à l'étranger, sur le même sujet : non-seulement le nombre des substances à formes limites a été ainsi augmenté, mais il me semble que les conclusions auxquelles j'étais arrivé en ont été confirmées.

M. *Émile Bertrand* (1) a décrit des cristaux de leucophane, qui ont été étudiés optiquement par M. P. Groth. Ces cristaux sont clinorhombiques avec une pseudosymétrie quadratique :

$$a : b : c = 1{,}1284 : 1 : 0{,}9974.$$

Angle des axes $xz = 90°$ approximativement.

Deux cristaux, ayant même axe vertical, se pénètrent en se croisant à angle droit. Les plaques minces, découpées perpendiculairement à la hauteur, sont composées de quatre secteurs limités par les diagonales. Deux secteurs opposés s'éteignent en même temps dans la lumière polarisée. Les directions d'extinction de deux secteurs juxtaposés font entre elles des angles de 4° environ. On voit, sur la photographie jointe au mémoire, que les plages qui s'éclairent et s'éteignent d'une manière nette entre les nicols croisés sont uniquement celles qui avoisinent les diagonales de la lame. Tout le reste demeure à peu près obscur d'une manière permanente. C'est un phénomène identique à celui que j'ai signalé dans l'apophyllite, et qui est dû à un mélange des deux réseaux croisés à angle droit. Il est évident que le mélinophane, que l'on considère comme quadratique, et qui, ayant la même composition que le leucophane, n'en diffère réellement que par la forme cristalline,

(1) *C. R.* Octobre 1876 et *Zeit. für Kr.*, II, 2, 1878.

ne doit plus être considéré que comme une variété de leucophane dans laquelle le mélange des réseaux croisés est plus parfait.

En effet, M. Bertrand (1) a pu mesurer la forme cristalline du mélinophane, qui est un prisme carré pour lequel $a:c=1:0,6584$. En doublant l'axe vertical on trouve $a:c=1:1,316$. Si l'on prend pour axe vertical du leucophane l'axe perpendiculaire aux deux axes presque égaux, on a $a:c=1:1,313$, c'est-à-dire presque les mêmes nombres que pour le mélinophane.

— M. *Émile Bertrand* (2) a trouvé, dans un échantillon de leadhillite provenant de Leadhill, des cristaux blancs ou légèrement gris à une extrémité, ayant deux axes optiques écartés de 21°; verts et uniaxes à l'autre extrémité. Un autre cristal, du même échantillon, montre au milieu une partie grise biaxe, terminée aux deux extrémités par des pointements verts et uniaxes à trois faces. Une mince lame de clivage montre au centre une partie biaxe, aux extrémités une bordure uniaxe. Si l'on se rappelle que la suzannite rhomboédrique a la même composition ($3PbOCO^2 + PbOSO^3$) que la leadhillite qui cristallise en prisme rhomboïdal droit voisin de 120°, on n'hésitera pas à voir dans le fait signalé par M. Bertrand la preuve que la suzannite n'est qu'une variété de leadhillite dans laquelle les croisements ternaires du réseau rhombique sont devenus absolument intimes.

Cette conclusion est confirmée par la comparaison des paramètres des deux substances. On a pour la suzannite :

$$a:h=1:2,2124,$$

et pour la leadhillite :

$$a:b:c=0,5723:1:1,2626,$$

ou, si l'on considère le cristal comme rigoureusement hexagonal :

$$a:h=1:2,208.$$

Il faut ajouter enfin que dans chacune des deux substances existe un clivage facile perpendiculaire à l'axe ternaire ou pseudoternaire.

— M. *Émile Bertrand* cite (3) des cristaux de rubis corindon, provenant de Battambang (Siam), qui offrent des écartements d'axes optiques très-variables, depuis la simple dislocation de la croix jusqu'à un angle de 58° dans l'air, et offrant alors les phénomènes des cristaux à deux axes avec une parfaite régularité.

(1) *C. R.* 9 oct. 1876.
(2) *C. R.* 4 févr. 1878.
(3) *Bull. Soc. min.*, I, n° 6.

— *M. Tschermak*, de son côté (1), a cité un corindon montrant les phénomènes biaxes avec un écartement de 10° 28'. J'avais déjà signalé des phénomènes analogues.

— *M. Brezina* (2) a confirmé les observations que j'avais rapportées, dans mon Mémoire, sur l'idocrase. D'après lui, le réseau de cette substance serait au plus clinorhombique, et il a mesuré des écartements d'axes optiques de plus de 62° dans l'air avec une dispersion inclinée.

— La *milarite* (3) est un beau minéral signalé récemment par Kenngott. Il a été trouvé dans le val Giuf, près de Ruāras (Suisse), sur une roche granitique avec quartz, orthose, chabasie et chlorite. Il forme des prismes hexagonaux très-nets et très-limpides, surmontés par une pyramide et par la base. Malgré cette apparence parfaitement hexagonale, M. *Des Cloizeaux* a montré que les cristaux de milarite sont formés de cristaux rhombiques de 120° groupés par trois ou par six, comme les cristaux de withérite. Le plan des axes optiques est, dans chaque secteur, parallèle aux côtés de l'hexagone. M. Des Cloizeaux note les faces du pseudo-prisme hexagonal g^1; les faces de la pyramide sont e_2. L'angle $e_2 e_2 = 144°46'$; $pe_2 = 142°45'$. Les mesures ne sont jamais précises, parce que les faces ne sont pas rigoureusement planes.

— *L'enstatite* est en quelque sorte un pyroxène exclusivement magnésien et dont la forme, quoique se rapprochant beaucoup de celle du pyroxène est rhombique et non pas clinorhombique. — MM. *vom Rath* et *Brögger* (4) ont étudié des cristaux volumineux d'enstatite trouvés à Kjörrestad, dans le sud de la Norwége. Ces cristaux ont jusqu'à $0^m,3$ à $0^m,4$ de longueur; ils se trouvent dans un gîte d'apatite situé entre Krageröe et Langsund, et enclavé dans un schiste micacé et amphibolique. Avec l'enstatite et l'apatite se rencontrent encore des cristaux de rutile et du mica vert. L'analyse de l'enstatite a donné :

		Oxyg.	
Silice	58,00	30,02	
Alumine	1,35	»	
Protoxyde de fer	3,16	0,70	15,46
Magnésie	36,91	14,76	
Eau	0,80	»	

(1) *Min. und Petr. mitt.*, 1878.
(2) *Min. mitt. von Tschermak*, 1877.
(3) *N. Jahrb.* 1878, 1.
(4) *Zeit. für Kryst.*, t. II, 2. 1878.

Densité = 3.153.

D'après les observations faites par M. *Des Cloizeaux*, les axes optiques sont contenus dans le plan g^1; la bissectrice positive est parallèle à l'axe vertical; l'écartement des axes dans l'huile est de 78°30'.

Les cristaux sont surtout remarquables par une apparence clinorhombique qui est en contradiction apparente avec la forme connue de l'enstatite des météorites et avec les caractères orthorhombiques des phénomènes optiques. C'est ainsi que les deux faces de la forme $a^{\frac{1}{2}}$ qui doivent être placés symétriquement sur les deux faces m et m' du prisme m font avec elles les angles suivants :

$$a^{\frac{1}{2}}m = 71°, \qquad a^{\frac{1}{2}}m' = 78°.$$

Non-seulement ces variations d'angles ne sont pas les mêmes d'un cristal à l'autre, mais si l'on essaye de considérer le cristal comme clinorhombique, on ne trouve plus pour les faces, des notations simples.

Il me paraît évident que les anomalies signalées par les auteurs doivent rentrer dans les phénomènes de polysymétrie et s'expliquer par la forme limite du réseau cristallin du silicate de magnésie, comme je vais essayer de le montrer.

Remarquons d'abord que le pyroxène clinorhombique (silicate double de chaux et de magnésie), avec lequel l'enstatite est presque isomorphe, possède lui-même un réseau à forme limite et presque rhombique. Figurons en effet, dans le plan de symétrie, le réseau dont les nœuds sont occupés par les centres de gravité des molécules. La maille du réseau est un certain parallélogramme *aoa'o'* dans lequel *oa'* est la hauteur, et *ao* la diagonale inclinée de la forme primitive. Mais si l'on mène la diagonale *oo'*, rien n'empêche de substituer à la maille primitive un parallélogramme construit sur *ao* et *oo'*. Or ce parallélogramme est presque un rhombe, car pour qu'il le fût complétement, il suffirait que le triangle *oo'a* fût isocèle, c'est-à-dire que la médiane et la base fussent rectangulaires, et elles font un angle de 89°38'.

Le réseau du plan de symétrie et par suite tout le système réticulaire admettent donc presque exactement deux axes binaires, dont les paramètres sont *ao* et le double de la médiane du triangle *aoo'*. Le pyroxène est donc pseudo-orthorhombique (1).

(1) J'ai déjà montré que l'orthose a, pour une raison analogue à celle que je

En adoptant pour le pyroxène cette nouvelle maille dans le plan de symétrie, les paramètres des axes sont 1422 : 400 : 674, ou, en diminuant de moitié la longueur du paramètre 1422 :

1,77 : 1 : 1,68

Les axes de l'enstatite sont :

1,73 : 1 : 1,70

Sous cette forme le rapprochement entre les systèmes réticulaires de l'enstatite et du pyroxène est évident. Il est donc permis de conjecturer que le silicate de chaux et celui de magnésie ont des résaux très-voisins et clinorhombiques à forme pseudo-rhombique. Lorsque le silicate de magnésie est seul, le mélange des réseaux croisés est intime et ne se manifeste extérieurement que par des phénomènes de polysymétrie. Lorsque le silicate de chaux s'ajoute au silicate de magnésie, la tendance au croisement des réseaux est moins grande, et ne se manifeste plus que par une hémitropie fréquente autour d'un des axes pseudo-binaires perpendiculaires à h^1.

— Le rapprochement intime entre l'enstatite rhombique et le pyroxène clinorhombique est confirmé par une *observation* curieuse de M. *P. Trippke* (1) qui a observé dans des noyaux péridotiques du basalte du mont Gröditz, près Leignitz (*Silésie*), de petites masses lamelleuses formées d'une alternance régulière de lamelles d'enstatite et de lamelles de diallage. Cette alternance est constatée de la manière la plus nette par l'examen des phénomènes optiques. Si l'on considère deux lamelles superposées, on a un cristal hémitrope suivant une face h^1, comme c'est la règle dans le pyroxène ; seulement les deux moitiés du cristal hémitrope sont

---

viens d'exposer, une forme pseudorhombique. Il en sera d'ailleurs de même pour tous les cristaux clinorhombiques dans lesquels la perpendiculaire menée par un sommet O sur la hauteur *h* opposée, passe à peu près par le milieu de cette hauteur, ou par l'autre angle O postérieur. Ces deux règles se confondront en une seule, la dernière, si lorsque la première s'applique, on convient, ce qu'on peut toujours faire, de diminuer la hauteur de moitié. Or il est très-curieux qu'Haüy a déjà remarqué, et, sans attacher à cette remarque aucune idée théorique, que le cas était celui de tous les cristaux clinorhombiques qu'il connaissait : « J'ai trouvé, dit-il, que dans les applications de la théorie à toutes les variétés originaires de différentes espèces qui ont pour forme primitive un prisme analogue à celui dont il s'agit ici, » (c'est le prisme rhomboïdal oblique symétrique), « on obtient des résultats conformes à l'observation en supposant que la ligne *cs* » (la diagonale joignant les deux angles O, postérieur et antérieur, « soit perpendiculaire sur l'une et l'autre des arêtes *cg*, *as* » (arêtes verticales). (Haüy, *Traité de crist.*, 1822, page 72).

(1) *N. Jahrb.*, 1878, 7.

l'une rhombique, l'autre clinorhombique. Les lamelles pyroxéniques sont pénétrées par de petites inclusions d'opale qui remplissent de petites cavités cristallines ayant les formes du pyroxène.

— On sait que le célèbre minéralogiste de Bonn, M. vom Rath a découvert dans les druses de certaines roches volcaniques de la silice sous une forme cristallographique différente de celle du quartz, et qu'il a nommé la tridymite. Cette substance a été retrouvée dans les roches volcaniques de presque toutes les localités. La tridymite se présente sous la forme de lamelles hexagonales ou rhombiques de 120°, presque toujours groupées par 3, de telle sorte que les plans des 3 lamelles associées font entre eux des angles de 120°.

M. vom Rath avait observé que ces lamelles placées entre les nicols croisés ne s'éclairent dans aucune orientation. Il en avait conclu que le cristal est hexagonal et que le plan des lamelles est perpendiculaire à l'axe binaire. M. *M. Schuster* (1) a montré que la tridymite n'est point en réalité uniaxe, et que les lames qui ne s'éclairent pas entre les nicols croisés ne doivent cette propriété qu'à une superposition, ou un enchevêtrement de lames croisées dans différents sens. Il conclut de ces observations que le réseau de la tridymite est triclinique (2).

M. von Lasaulx (3) a, de son côté, constaté des faits analogues. Comme M. Schuster, il conclut de l'examen des phénomènes optiques que la tridymite est triclinique avec une forme limite voisine du système hexagonal. Les tables hexagonales dit-il, en apparence simples, sont formées de groupements hémitropes analogues à ceux du mica monoclinique et des minéraux rhombiques du groupe de l'aragonite (4). M. Von Lasaulx ajoute qu'il y a lieu de penser que la silice, sous forme de cristaux rhombiques biaxes, que M. Story-Maskeline a découverte dans la météorite de Breitenbach, et qu'il a nommée *asmanite*, est identique à la tridymite.

La supposition de M. von Lasaulx me paraît extrêmement probable ; et je crois qu'on peut l'appuyer sur les remarques suivantes. Les paramètres de l'asmanite, tels que les indiquent MM. vom Rath et Maskelyne sont :

$$0,578 : 1 : 1,899,$$

(1) *Min. und Petr. Mitt.*, 1er v.

(2) J'ai observé les mêmes phénomènes sur les lamelles extraites du trachyte du Puy-du-Capucin (Monts-Dores).

(3) *Zeit. für Kryst.*, 3, 1878.

(4) J'ajouterai que les mêmes phénomènes se trouvent dans les chlorites qui sont aussi tricliniques, et dans lesquelles la mélange de réseaux croisés peut devenir presque parfait (Pennine).

c'est-à-dire que la forme primitive est à très-peu près un prisme hexagonal, dont les axes sont :

$$a : h = 1 : 3{,}31.$$

La tridymite a pour forme un prisme hexagonal, dont les paramètres sont :

$$a : h = 1 : 1{,}638 \text{ ou sensiblement } 1 : \frac{1}{2} \times 3{,}31 = 1 : 1{,}655.$$

Enfin, le quartz, considéré comme hexagonal, a pour paramètres :

$$a : h = 1 : 1{,}099 \text{ ou sensiblement } 1 : \frac{1}{3} \,.\, 3{,}31 = 1 : 1{,}103.$$

Les formes cristallines des trois variétés de silice peuvent donc être considérées comme très-voisines l'une de l'autre.

— *L'amphigène* qui est une des plus curieuses substances à forme limite et que j'ai étudiée avec détail dans mon Mémoire, a été, depuis sa publication, l'objet d'un travail de M. *Baumhauer* (1), qui a étudié principalement les figures de corrosion développées sur un cristal d'amphigène, par l'acide fluorhydrique. Il est arrivé aux conclusions suivantes :

1° Les plans des octaèdres quadrangulaires de M. vom Rath se distinguent de ceux des dioctaèdres par leur moindre attaquabilité ;

2° Le mode d'hémitropie est celui qui a été défini par M. vom Rath;

3° Les variations dans les angles observés s'expliquent par l'inégale répartition des lamelles hémitropes qui constituent le cristal;

4° Enfin il n'y a aucune raison sérieuse pour donner à l'amphigène un autre système que le système quadratique.

Sans revenir sur ce que j'ai dit ailleurs au sujet de l'amphigène, je me bornerai à dire que les observations de M. Baumhauer ne me paraissent pas contredire les miennes. En disant que les groupements hémitropes peuvent donner au cristal une symétrie apparente, différente de la vraie, M. Baumhauer rentre même tout à fait dans ma manière de voir.

— Le *mica* est certainement un des minéraux qu'il paraît le plus facile de définir. Il est singulier que la science ne soit pas encore parvenue à faire cette définition d'une manière satisfaisante. On ne sait encore avec précision ni quelle est la composition chimique, ni quelle est la forme cristalline du mica ou des micas.

(1) *Zeit. für Kryst.*, I, 3, 1877.

Dans un travail étendu (1), le savant minéralogiste de Vienne, M. *Tschermak*, a essayé de fixer la forme cristalline de ces curieuses substances.

Il divise d'abord, comme tout le monde, les micas d'après leur composition chimique en

1° Micas ferro-magnésiens comprenant des variétés assez riches en protoxyde de fer, généralement de couleur foncée, et nommés *biotites*, le mica du Vésuve en est le type; puis des variétés très-pauvres en protoxyde de fer, de couleur gris-pâle et nommées *phlogopites;* M. Tschermak distingue, parmi les biotites, le *meroxène* ou biotite proprement dite; l'*anomite*, qui se distingue du méroxène par quelques propriétés physiques, et qui paraît rare; enfin le *lépidomélane*, agrégat écailleux signalé à Persborg, dans le Wermland, et qui se distingue par une composition plus riche en potasse; parmi les phlogopites auxquelles appartiennent les micas des calcaires cristallins, de la dolomie, de la serpentine M. Tschermak distingue la phlogopite proprement dite et la *Zinnwaldite* qui paraît être une phlogopite lithifère.

2° Micas alumino-potassiques, de couleur claire, dont le mica des pegmatites est le type; ce sont les *muscovites*, parmi lesquelles on range le mica lithifère ou *lépidolite*, et le mica associé au Saint-Gothard avec le disthène et la staurotide qu'on appelle la *paragonite* et qui se distingue surtout par sa richesse en soude.

Enfin M. Tschermak range avec les micas la *margarite* qui s'en éloigne cependant assez notablement par la composition chimique.

Tous les micas, quel que soit le véritable système cristallin auquel on doive les rapporter, sont pseudohexagonaux. D'après les expériences de M. Reusch, poursuivies par M. Bauer, lorsqu'on choque avec une pointe mousse une lame de mica reposant sur un corps dur, il se développe des fissures régulières qui divergent du point choqué, et rencontrent le plan de la lame suivant trois droites également inclinées les unes sur les autres. Ces droites sont parallèles aux côtés de l'hexagone qui, dans les cristaux de biotite bien formés, limitent les lames de clivage. Les mêmes fissures se produisent encore lorsqu'on enfonce la pointe d'une aiguille dans une lame de mica. Si l'on examine non-seulement la direction de ces lignes, mais encore la nature du plan de séparation dont ces lignes sont la trace sur le plan de la lame, on voit qu'à l'une de ces lignes correspond un plan de fissure assez net et normal à la lame; ce plan est parallèle à l'une des faces que la

(1) *Zeit. für Kryst.*, II, 1, 1877.

cristallisation montre le plus souvent. Les plans correspondant aux deux autres fissures ne sont plus aussi simples; ils sont au nombre de deux ou trois pour une même fissure et sont toujours obliques sur la lame. Cette simple observation montre que les cristaux de mica, même optiquement uniaxes, ne sont pas rhomboédriques, puisque les 3 directions de fissures ne sont pas égales entre elles. Tout au plus le mica peut-il être rhombique, un des plans de symétrie étant parallèle au plan de fissure normal à la base.

Lorsqu'on choque avec une pointe mousse une lame de mica reposant sur un support élastique, il se produit encore des fissures, mais les traces en sont perpendiculaires sur les précédentes, c'est-à-dire normales aux côtés de l'hexagone qui limite les lames de biotite. Les plans correspondant à ces fissures et que M. Reusch appelle des plans de glissement, sont très-inclinés sur la base et en général également inclinés pour les trois directions.

M. Tschermak s'est servi de ces curieuses observations pour déterminer, dans les lames dépourvues de tout contour, une direction fixe qui est celle du plan d'éclatement, perpendiculaire au plan de clivage. Ce plan est parallèle à un plan de symétrie du cristal; on peut le nommer g^1.

M. Tschermak a trouvé que, sauf de rares exceptions, telles que le mica du lac Baïkal, celui de Greenwood Furnace (Monroē), etc., dont il a fait une variété spéciale sous le nom d'*anomite*, les biotites et les phlogopites ont le plan des axes optiques parallèle à g^1. L'écartement des axes est d'ailleurs, comme on le sait, très-faible et souvent nul. Il ne dépasse guère 15° à 16°.

Pour toutes les muscovites au contraire, sans exception, le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1. Les axes sont d'ailleurs très-écartés, et leur écartement, qui n'est jamais faible, peut aller jusqu'à 70°. Il faut ajouter que, pour toutes les biotites, sauf l'anomite et la zinnwaldite, la dispersion est caractérisée par $\rho < v$, et par $\rho > v$ pour toutes les muscovites, sauf la margarite.

Au point de vue cristallographique, M. Tschermak adopte, pour le mica, la forme donnée par M. Des Cloizeaux, qui est celle d'un prisme rhomboïdal de 120 degrés, avec une apparence rhomboédrique très-fréquente. Seulement, au lieu de considérer le prisme comme droit, ainsi que le fait M. Des Cloizeaux, il admet, pour l'angle de p sur h^1, un angle égal à 90°0′10″. La différence angulaire est insignifiante; c'est uniquement une question de symétrie. M. Tschermak montre qu'il y a des cristaux de biotite composés des formes p, g^1, $b^{\frac{1}{2}}$, e^1, $\left(b^{\frac{1}{4}} d^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}\right)$, o^1. Ces cristaux n'ont pas de

plan de symétrie horizontal, et ils ont un seul plan de symétrie vertical parallèle à g^1; ils ne sont donc pas rhombiques. En revanche, ils peuvent devenir rhomboédriques en apparence, lorsque, par exemple, les formes p, o^1 et $\left(b^{\frac{1}{4}} d^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}\right)$ existent seules, car les six plans qui composent o^1 et $\left(b^{\frac{1}{4}} d^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}\right)$ sont à peu près également inclinés sur p.

Mais ces observations cristallographiques sont rendues très-difficiles par le peu de netteté des faces cristallines, par l'existence de plans très-voisins les uns des autres et provenant de la polyédrie, enfin par les mâcles nombreuses qui font qu'un cristal est plutôt le résultat de groupements multiples très-complexes qu'un cristal unique.

Il vaut mieux fixer la symétrie par les observations optiques. M. Tschermak constate que, lorsque les lamelles de clivage du mica sont assez planes pour se prêter aux observations, la bissectrice aiguë n'est jamais exactement normale à la lame. Il en résulte que le centre des anneaux ou des lemniscates ne coïncide pas avec l'axe optique du microscope polarisant à lumière convergente. M. Tschermak a mesuré l'angle de la bissectrice avec la normale à p, et, dans les biotites du Vésuve, l'a trouvé variable de 6' à 43', soit en avant, soit en arrière. Cet angle va dans la phlogopite jusqu'à 1°19'; dans la zinnwaldite, il peut même aller jusqu'à 4 degrés.

M. Tschermak considère, d'après ses observations, les principales variétés de muscovite comme isomorphes avec la biotite, avec une apparence clinorhombique plus accusée. Il trouve aussi que le plan des axes optiques, qui est perpendiculaire à g^1, n'est pas normal à p; l'angle peut aller jusqu'à 1°40'; il paraît le plus ordinairement incliner en haut vers la partie postérieure.

Enfin M. Tschermak regarde la margarite comme isomorphe avec la muscovite et la biotite. Le plan des axes optiques fait, avec la normale à p, un angle de 8°36' en arrière.

Il faut avouer que les observations optiques, qui sont un des points les plus intéressants du mémoire de M. Tschermak, sont délicates, et qu'il paraît difficile d'apprécier, par les procédés ordinaires, des angles aussi petits que ceux que font les bissectrices aiguës ou les plans des axes avec la normale à p. Toutefois, les observations de M. Tschermak ont été pleinement confirmées par des observations de M. *Bauer*, faites par un procédé susceptible d'une grande précision (1).

(1) *Tsch. Min. Mitt.*, I, 1.

Le mica doit donc être considéré comme une substance à forme limite dont le réseau est monoclinique et pseudohexagonal. Toutes les variétés des phénomènes optiques que présente le mica sont une conséquence en quelque sorte nécessaire de cette définition, ainsi que je l'ai montré pour un grand nombre d'autres substances cristallines. Sous ce rapport, le groupe du mica ne diffère pas de celui des chlorites, quoique, dans ce dernier groupe, le réseau soit peut-être plutôt triclinique.

— J'ai signalé (1) la forme orthorhombique et pseudocubique du réseau de l'analcime, et j'ai montré que les cristaux d'analcime sont formés par un groupement de trois cristaux pseudoquadratiques se pénétrant et se groupant suivant trois directions rectangulaires. Chaque cristal pseudoquadratique est lui-même formé par un croisement de deux cristaux rhombiques pseudoquadratiques. J'ai remarqué que la christianite et l'harmotome présentent des groupements identiques qui ne diffèrent de ceux de l'analcime que parce qu'ils sont habituellement moins parfaits et moins dissimulés. J'ajoutais même que ce type paraissait être le type commun de la plupart des zéolites, sinon de toutes.

Ces prévisions, qui étaient fondées sur une étude attentive des formes primitives des espèces zéolitiques, ont reçu des confirmations intéressantes. Dans une note publiée dans le *Neues Jahrb. fur Min.*, etc., 1878, le savant professeur de Breslau, M. *von Lasaulx* a examiné des cristaux très-nets de la variété d'analcime du Monte-Catini, connu sous le nom de Picranalcime. Il est arrivé à des conclusions identiques aux miennes dans les points essentiels, sauf qu'il considère le vrai réseau comme clinorhombique et non comme orthorhombique ainsi que je l'avais supposé. Il fait, comme moi, remarquer que le groupement qui donne naissance à l'analcime est identique à celui de la christianite. Ce groupement des cristaux de christianite a d'ailleurs été étudié avec soin par un élève de M. von Lasaulx, M. *P. Trippke* (2), qui a montré que le réseau de cette substance, comme celui de l'harmotome, est clinorhombique; et plus récemment par M. *Fresenius* (3), qui est arrivé à des conclusions identiques.

Enfin, M. *von Lasaulx* (4) a montré que la forme cristalline de la stilbite est très-voisine de celle de la christianite et de l'har-

(1) *Ann. des mines*, t. X, 7e série, 1876.
(2) *Neues Jahrb.*, 1878, 7.
(3) *Zeit. für Kr.*, III, 1, 1879.
(4) *Zeit. für Kr.*, II, 6, 1878.

motome, et présente des groupements analogues à ceux de ces deux espèces minérales.

— M. *Streng* (1) a examiné les phénomènes optiques produits par la chabasie. Des lames perpendiculaires à l'axe ternaire ne lui ont pas donné de courbes d'interférences dans la lumière convergente à cause des nombreuses mâcles. Les lames étaient partagées par une ou plusieurs lignes de séparation en deux ou plusieurs plages ne s'éteignant pas en même temps. Des lames parallèles à une face du rhomboèdre primitif et très-voisine de la surface, montraient une ligne de séparation très-nette parallèle à la petite diagonale du rhombe. Lorsque cette ligne s'interrompait, les couleurs des deux plages qu'elle séparait se fondaient l'une dans l'autre. On remarquait que cette ligne correspondait avec celle qui, sur la surface, formait l'arête d'un biseau très-obtus et le point de rencontre des stries parallèles aux côtés. Là, où cette arête s'interrompt, la ligne de séparation des deux plages optiques s'interrompt aussi. Des mesures faites sur l'angle du biseau que portent les faces ont donné des nombres très-variables, depuis 3° 34′ (angle des normales) jusqu'à 0° 21′. Il est donc impossible de donner aux faces de ce biseau une notation cristallographique.

L'auteur explique, par un assemblage irrégulier de cristaux mâclés, ces phénomènes cristallographiques et optiques. Cette explication, qui suppose une imperfection des lois de la cristallisation pour expliquer un fait qui se reproduit avec une constance très-régulière, est évidemment inadmissible. Il me paraît, au contraire, évident que la polysymétrie de la chabasie est liée à l'anomalie des phénomènes optiques, par la loi que j'ai fait connaître et développée dans ce recueil.

---

§ 2.

COMPOSITION CHIMIQUE DES MINÉRAUX.

On connaît toute une série de silicates très-curieux; ils contiennent des sesquioxydes qui entrent évidemment d'une manière essentielle dans la composition chimique, et sont isomorphes ou

(1) *Zeit. für Kr.*, I, 519 (par extrait).

quasi-isomorphes avec le pyroxène. Or si, pour justifier cet isomorphisme, on compare la composition chimique de ces minéraux avec celle du pyroxène, on voit que l'oxygène des bases est en effet la moitié de celui de la silice, mais à la condition d'additionner l'oxygène des bases sesquioxydes avec celui des bases protoxydes. En d'autres termes, l'isomorphisme de ces composés (Achmite, Œgirine, Babingtonite, Triphane), avec le pyroxène, s'explique d'une manière satisfaisante, si l'on admet l'isomorphisme des composés $3SiO^2$, R^2O^3 et $3SiO^2$, $3RO$.

Cette théorie émise par *Knop* a été contredite par M. Tschermak qui admet que l'achmite, l'œgirine, etc., sont des mélanges d'un silicate d'une composition analogue à celle de l'amphigène $4SiO^2$, R^2O^3, Na^2O (dans lequel la somme de l'oxygène des bases sesqui-oxydes et protoxydes est égale à la moitié de l'oxygène de la silice), avec des silicates qui ont une composition analogue, si l'on admet que le radical Al^2 peut se dédoubler, une moitié Al jouant le rôle de Si, l'autre moitié jouant le rôle d'un radical de protoxyde. Ces silicates auraient la formule $(Si, Al)O^4$ $2(Al, R)O$ et seraient isomorphes avec les silicates monobasiques Si^2O^4, $2RO$. On peut objecter que ces silicates sont uniquement théoriques, et que l'existence n'en est appuyée que sur des considérations tirées, par des raisonnements fort incertains, de la théorie de l'atomicité, fort contestée elle-même.

Il est vrai que l'on ne connaît pas davantage un silicate naturel de la formule $3SiO^2$, R^2O^3, et que tous les silicates de sesquioxyde anhydres, connus jusqu'ici, ont pour formule $SiO^2R^2O^3$ (Disthène, andalousite, sillimanite et peut-être sphène et topaze). Toutefois l'existence de semblables silicates paraît bien plus vraisemblable que celle des silicates admis par M. Tschermak. Il y a plus, cette lacune dans nos connaissances paraît être comblée par la découverte récente d'un minéral, la *szaboïte*, dont on trouvera la description dans le paragraphe de ce travail consacré aux espèces nouvelles. La szaboïte aurait, d'après l'auteur de l'espèce M. Koch, la composition $3SiO^2$, Fe^2O^3, et, d'après les mesures cristallographiques, cette espèce serait précisément isomorphe ou quasi-isomorphe avec le pyroxène et la babingtonite qui l'accompagne dans le gisement. Il paraît y avoir là une confirmation éclatante de la théorie de Knop.

M. *Doelter* a essayé de résoudre la question par des analyses directes des minéraux. Dans un premier travail très-étendu (1), il

(1) *Tsch. Min. Mitt.*, 1877 et 1878.

a analysé avec le plus grand soin de nombreux échantillons de pyroxène, de différentes localités, présentant les garanties de pureté les plus sérieuses. Beaucoup d'échantillons de pyroxène contiennent de l'alumine, et la présence de cette base sesqui-oxyde peut s'expliquer dans les deux théories en présence. Mais la quantité d'alumine est assez faible dans le pyroxène et les analyses sont insuffisantes à décider entre les deux théories en présence, M. Doelter se borne à déduire de ses recherches qu'il est impossible de considérer l'alumine des pyroxènes comme introduite, soit par des inclusions de minéraux étrangers, soit par des mélanges supposés isomorphes de $SiO^2RO = SiRO^3$ et M^2O^3.

— Dans un autre travail (1), M. *Doelter* donne le résultat d'analyses faites sur des échantillons bien choisis d'achmite et d'œgirine. Il conclut : 1° que l'œgirine analysée est exactement représentée par un mélange de :

77,0 % de.	$4SiO^2$, Fe^2O^3 Na^2O
9,9.	$4SiO^2$ $2MgO$, $2CaO$
11,6.	$4SiO^2$ $2FeO$, $2CaO$
1,5.	$4SiO^2$ $2MnO$ $2CaO$

Cette composition est d'accord avec la théorie de Knop. Les silicates hypothétiques de M. Tschermak n'entrent pas dans la composition de l'œgirine.

Quant à l'achmite, M. Doelter admet qu'on en peut représenter la composition par :

89 %.	$4SiO^2$ Fe^2O^3 Na^2O
8.	$(Si^2Fe^2)O^8$, $4FeO$
3,7.	$(Si^2Fe^2)O^8$ $2AlO$, $2FeO$
1,2.	Si^4O^8, $2MnO$, $2CaO$

Mais il y a un écart notable entre la théorie et l'observation, car l'observation donne 2,73 p. 100 de silice en plus, 1,19 de sesqui-oxyde de fer et 0,58 de soude en moins. Au contraire la quantité d'oxygène de la silice étant 27,3, la somme des quantités d'oxygène du sesqui-oxyde et des bases protoxydes est 13,77 dont le double est 27,54. L'observation donne donc une quantité de silice qui n'est que de 0,45 p. 100 inférieure à celle qu'exigerait la théorie de Knop. On peut donc dire que le travail de M. Doelter est de nature à confirmer la théorie si simple de Knop et à infirmer la théorie si hasardée de M. Tschermak.

(1) *Tsch. Min. Mitt.*, 1878, 4.

— Le *triphane* est un des minéraux presque isomorphes avec le pyroxène, dont il a les clivages parallèles aux faces *m*, inclinés de 85°45′ et le clivage h^1. On peut admettre que c'est, au point de vue chimique, un pyroxène, SiO^2RO, dans lequel l'oxygène de la silice est double de celui des bases, mais à la condition de compter, avec celui des bases, l'oxygène de l'alumine, qui est en proportion considérable. L'analyse de M. *Pisani* (1) confirme cette manière de voir :

		Oxyg.	
Silice	63,80	34	8
Alumine	27,93	13	3
Protoxyde de fer	1,05	} 4,22	1
Prot. de manganèse	0,12		
Chaux	0,46		
Lithine	6,75		
Soude	0,89		
	101,00		

Il faut cependant remarquer qu'on pourrait aussi, d'après cette analyse, en se fondant sur le rapport de 3 à 1, qui existe si nettement entre l'oxygène de l'alumine et celui des bases protoxydes, et qui est caractéristique pour les feldspaths, rapprocher le triphane des feldspaths.

— M. *Forster Heddle* a publié (2) la première partie d'un grand travail sur les feldspahs d'Écosse. Il a analysé avec le plus grand soin un nombre considérable d'échantillons de feldspaths. On trouvera dans son travail ces analyses, qui ne peuvent trouver place ici; je me contenterai de faire connaître la plus intéressante des conclusions de l'auteur.

On sait que M. Tschermak est l'auteur d'une idée séduisante qui n'admet que deux feldspaths tricliniques : l'albite ($6SiO^2Al^2O^3Na^2O$) à base de soude, et l'anorthite ($2SiO^2Al^2O^3CaO$) à base de chaux. Tous les autres feldspaths seraient des mélanges isomorphes de ces deux composés.

M. Des Cloizeaux s'est déjà élevé contre cette théorie, en s'appuyant sur les phénomènes optiques, qui sont constants, suivant lui, dans chacune des espèces feldspathiques. Cette constance lui semble incompatible avec une théorie qui ne voit dans tous les feldspaths intermédiaires entre l'albite et l'anorthite que des mélanges en proportions variables de ces deux feldspaths fondamentaux.

(1) *C. R.*, 84.
(2) *Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh*, 1877, 28, et analysé dans *Zeit. für Kr*., II, 6.

M. Forster Heddle combat à son tour la théorie de Tschermak, au nom de la pétrographie. L'oligoclase est, suivant lui, caractéristique du granit; le labrador, des diabases, etc. Le rôle pétrographique spécial qui est assigné à chacun des feldspaths montre que chacun de ces feldspaths est bien un composé défini ayant une existence propre.

Il me paraît évident que les objections de M. Des Cloizeaux et de M. Forster Heddle, contre la théorie de M. Tschermak, sont sérieuses et ne permettent pas de la maintenir dans sa simplicité première. Mais il ne me paraît pas impossible d'admettre, en quelque sorte, un terme moyen. Nous avons, dans la série des carbonates rhomboédriques des exemples de mélanges isomorphiques bien caractérisés, et en même temps des exemples de composés qui participent, par les propriétés physiques, des mélanges isomorphes, et, par la constance des proportions, des combinaisons chimiques définies. La plus connue de ces substances est la dolomie. Ne pourrait-on pas supposer que les différents feldspaths, ogligoclase, andésine, labrador, intermédiaires entre l'albite et l'anorthite, sont des mélanges isomorphes en proportions définies de ces deux feldspaths fondamentaux, au même titre et dans le même sens que la dolomie est un mélange isomorphe en proportions définies de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie? Ceci n'empêcherait pas d'ailleurs que dans chaque feldspath, aux proportions définies des deux composants, ne puissent s'ajouter des quantités relativement petites de l'un ou de l'autre, ainsi qu'on le constate encore dans la dolomie. Cette manière de voir me semble d'accord avec tous les faits, et je crois qu'elle en donne une interprétation satisfaisante.

— M. *Tschermak* qui, dans un premier mémoire avait étudié les propriétés physiques des micas, a, dans un second, essayé de fixer leur composition chimique (1). Ses conclusions reposent principalement sur 16 analyses nouvelles, exécutées avec le plus grand soin dans le laboratoire de M. E. Ludwig à Vienne.

M. Tschermak pense que les micas sont formés par des mélanges en proportions variables, de trois composés isomorphes.

Le composé le plus important, celui qui ne manque chez aucun mica, et forme comme le noyau de la molécule, est représenté par la formule :



$$Si^6Al^6R^6O^{24},$$

(1) *Zeit. für Kr.*, III, 2

dans laquelle R représente une molécule d'un métal monoatomique, soit d'un des métaux alcalins, K, Na, Li, soit de l'hydrogène.

Le second composé est représenté par la formule :



$$Si^6R^{12}O^{24},$$

dans laquelle R représente un métal biatomique de la série du magnésium, habituellement Mg, exceptionnellement Fe.

Dans ces deux composés, la quantité d'oxygène des bases (sesquioxyde ou protoxyde), est égale à la quantité d'oxygène de la silice. Le premier composé représente une anorthite :



$$3(2SiO^2, Al^2O^3, R^2O).$$

Le second représente un péridot :



$$6(SiO^2, 2RO).$$

On savait en effet depuis longtemps, que dans le plus grand nombre des micas, la silice est complétement saturée, si l'on regarde l'eau comme basique (1). Mais un certain nombre de variétés, au nombre desquelles il faut ranger surtout les plus fluorifères, contiennent une quantité de silice plus grande que celle qui peut être saturée par les bases. Pour expliquer cette anomalie, M. Tschermak imagine un troisième composé qu'il suppose isomorphe aux deux autres, et ayant pour formule :



$$Si^{10}O^8Fl^{24} = 4SiO^2, 6SiFl^4.$$

Il suppose en outre que, dans ce composé hypothétique, 8 atomes de Fl peuvent être remplacés par 8 atomes d'hydroxyle monoatomique (HO) ; les 16 atomes restants de Fl, étant remplacés suivant la règle connue, par 8 atomes d'oxygène. On obtient ainsi un quatrième composé hypothétique :



$$Si^{10}H^8O^{24} = 10SiO^2, 4H^2O.$$

que M. Tschermak suppose isomorphe au précédent, et le remplaçant en toutes proportions.

Malgré l'autorité qui s'attache aux idées qu'émet M. Tschermak, il me semble bien difficile d'admettre l'existence réelle de composés aussi hypothétiques.

Quoi qu'il en soit, le tableau suivant résume les conclusions des recherches de M. Tschermak, sur les propriétés physiques et chimiques des micas.

(1) Voir *Dictionnaire de Chimie*, article : Micas, par MM. Friedel et Salet.

1° Série des biotites.

Monocliniques. — Optiquement négatifs. — La bissectrice aiguë s'écartant très-peu de la normale à p. — D = 2,8 à 3,2. — Teneur en fer notable.

Anomite. — Types : grands cristaux de mica brun; micas verts de Grenwood Furnace. — Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1. $\rho > v$.

Compostion chimique : $Si^6Al^6K^4H^2O^{24} + \frac{1}{2}$ à $1Si^6Mg^{12}O^{24}$.

Meroxène. — Types : Mica noir du Vésuve : mica noir de Tschebarkal (Sibérie); micas noirs de Morawitza, de Miask, etc. — Plan des axes optiques parallèle à g^1. $\rho < v$.

Composition chimique : $Si^6Al^6K^3H^3O^{24} + \frac{1}{2}$ à $1Si^6Mg^{12}O^{24}$.

Le Rubellane (Breith.), la Voigtite (Schmidt), l'Eukamptite (Kenng.), l'Aspidolite (v. Kob.), l'Hallite (Leeds), la Rastolite (Shep.) sont des meroxènes décomposés.

Lepidomélane (Hausmann. — Plan des axes optiques parallèle à g^1.

Composition chimique : $Si^6Al^6K^2H^4O^{24} + Si^6Mg^{12}O^{24}$.

2° Série de la phlogopite.

Monocliniques. — Opt. négatifs. — La bissectrice peut faire avec la normale à p un angle allant jusqu'à 2° 1/2. — Plan des axes optiques parallèle à g^1. D = 2,75 à 2,97.

Phlogopite (Breith.). — Angle des axes allant jusqu'à 20°; $\rho < v$.

Composition chimique : $3Si^6Al^6K^6O^{24} + 4Si^6Mg^{12}O^{24} + Si^{10}H^8O^{24}$. Les proportions de ces trois composés peuvent varier. Tout ou partie de $Si^{10}H^8O^{24}$ peut être remplacé par $Si^{10}O^8Fl^{24}$.

Les phlogopites rouge brun tiennent toutes du fluor, les vertes en contiennent très-peu. Leur présence dans le calcaire grenu est caractérisque.

La Vermiculite (Webb.), la Jefferisite (Brush) sont des phlogopites décomposées,

Zinnwaldite. — Syn. : Lithionite (v. Kob). — Rabenglimmer (Bruth). — Cryophyllite (Cooke).

Angle apparent des axes optiques jusqu'à 65°. $\rho > v$.

Composition chimique : $10Si^6Al^6K^6O^{24} + 2Si^6Fe^{12}O^{24} + 2Si^{10}O^8Fl^{24}$. Ce dernier composé peut être remplacé par $Si^{10}H^8O^{24}$.

La potasse est remplacée pour moitié par la lithine.

3° Série de la muscovite.

Monocliniques. — Optiquement négatifs. — Bissectrice s'éloignant peu de la normale à p. — Plan des axes optiques à angle droit sur g^1. — $\rho > v$. D = 2,83 à 2,89.

Lepidolite. — Composition chimique : $3Si^6Al^6K^6O^{24} + Si^{10}O^8Fl^{24}$. Ce dernier composé est en partie remplacé par $Si^{10}H^8O^{24}$.

La potasse peut être remplacée pour moitié au moins par la lithine. On peut rapporter à la lépidolite la Cookéite de Brush.

Muscovite (Dana). — Syn. : Mica potassique, mica à deux axes, Phengite (v. Kob). — Fuchsite, mica chromifère (*pro parte*).

Composition chimique : $Si^6Al^6K^2H^4O^{24}$ dans la muscovite ordinaire et $3Si^6Al^6K^2H^4O^{24} + Si^{10}H^8O^{24}$ dans la Phengite.

La didymite, l'amphilogite, l'adamsite désignent des variétés de muscovite. La margarodite (Schafh.), l'euphyllite (Sillim.) paraissent être des mélanges de

muscovite et d'autres micas. L'œllachérite (Dana) est un mica barytique. La séricite (List.) est un mélange de muscovite et d'un mica magnésien. La damourite (Delesse) est une muscovite compacte quelquefois appelée onkosine. C'est ici que se place la liébénérite et peut-être la pinite.

Paragonite (Schafh.). — Syn. Pregrattite (Liebener). — Mica sodifère.

Composition chimique : $Si^6Al^6Na^2H^4O^{24}$.

La Cosseïte de Gastaldi est une Paragonite compacte ressemblant extérieurement à la damourite.

— On sait qu'on a rencontré dans la Nouvelle-Calédonie des gisements importants de nickel. Le minerai y est constitué par des silicates magnésiens et nickélifères qui diffèrent assez notablement de ce qu'on connaissait ultérieurement sous le nom de pimélite. La substance est loin d'être homogène et l'on a donné à ses diverses variétés les noms de *garniérite* et de *nouméite*. Il ne serait que juste de conserver le nom de garniérite qui rappelle celui du premier explorateur scientifique de l'île. C'est d'ailleurs M. Garnier qui, le premier, a signalé l'existence du nickel dans notre colonie.

Le minerai ne peut pas être regardé comme un minéral bien défini, même lorsqu'il se présente à l'état de masses stalactitiques mamelonnées, translucides, à cassure cireuse et d'apparence homogène. On se fera une idée des divergences dans la composition des diverses variétés en comparant les trois analyses suivantes :

	I	II	III
Silice	42,61	44,40	41,80
Ox. de nickel	21,91	38,61	»
Magnésie	18,27	3,45	37,38
Chaux	»	1,07	»
Alumine	»	1,68	»
Sesquioxyde de fer	0,89	FeO 0,43	1,26
Eau	15,40	10,34	20,39
	99,08	99,98	100,93

L'analyse I a été faite par M. Damour (1) sur une masse concrétionnée celluleuse, d'un vert émeraude, très-tendre. Densité = 2,87. Chauffée dans un tube, elle dégage de l'eau et noircit. Placé dans l'eau, le minéral se fendille, dégage quelques bulles d'air et se divise en menus fragments. Au chalumeau sur le charbon, se délite en petits fragments, prend une teinte vert-olive et ne fond pas. Aisément attaqué par l'acide sulfurique à 300°, et difficilement attaquable par les acides nitrique et chlorhydrique.

La substance paraît se composer essentiellement d'un hydrosilicate de magnésie, dans lequel la magnésie est remplacée en pro-

(1) *Bulletin de la Soc. min.*, I, 2, 1878, et *C. R.*, mars 1878.

rtion variable par l'oxyde de nickel. Elle forme un filon dans e serpentine qui semble résulter, comme le fait remarquer . Des Cloizeaux, de la décomposition du péridot dont d'innombrables cristaux, plus ou moins désagrégés, sont restés comme témoins au milieu de la roche.

— M. *Ludwig* (1) a analysé la *milarite* dont on ne connaissait que eux analyses assez peu concordantes.

La moyenne des trois analyses a donné :

Silice	71,81
Alumine	10,67
Chaux	11,65
Potasse	4,86
Eau	1,36
	100,35

On en tire la formule :



$12SiO^2, Al^2O^3, 2ÇaO(K^2, H^2)O.$

On ne voit guère que la pétalite dont on puisse rapprocher la milarite. La formule de la pétalite est :



$30SiO^2, 4Al^2O^3. 3Li^2O.$

Dans les deux silicates, la somme de l'oxygène des bases protoxyde et sesquioxyde est le quart de l'oxygène de la silice.

— M. *Rammelsberg* a publié (2) les analyses suivantes du pollux et de la pétalite de l'île d'Elbe.

	Pollux D = 2.868.		Pétalite D = 2.386.
Silice	48,15		78,07
Alumine	16,31		17,55
Potasse	0,47		0,43
Soude	2,48		1,04
Oxyde de cœsium	30,00	Lithine	2,77
Eau	2,59	Perte	0,34
	100,00		100,20

De ces analyses on déduit les formules suivantes pour le pollux :



$5SiO^2, Al^2O^3, R^2O + H^2O;$

et pour la pétalite ;



$30SiO^2, 4Al^2O^3, 3R^2O.$

— On doit à M. *H. Rouff* les analyses suivantes (3) faites sur la néphéline, la cancrinite, et la microsommite.

---

(1) *Min. mitt.*, 1877.

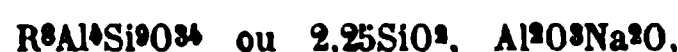
(2) *A. d. Monatb. der K. Ak. d. Wis. zu Berlin*, 20 janv. 1878, et analysé dans *N. Jahrb. f. min.*, 1878, 8.

(3) *Inaug. Diss. Bonn.* et *N. Jahrb.*, 1878, 7.

Néphéline. (3 analyses).

Silice	43,91	44,41	43,79
Alumine	33,56	33,47	32,80
Chaux	1,58	1,76	1,32
Magnésie	0,23	0,14	0,20
Soude	15,58	16,19	16,23
Potasse	4,93	4,54	4,82

L'auteur en conclut la formule brute :



$R^8Al^8Si^9O^{34}$ ou $2,25SiO^2, Al^2O^3Na^2O$,

ce qui est la formule généralement admise.

Cancrinite.

Silice	37,40	37,16
Alumine	28,08	28,32
Oxyde de fer	0,37	0,51
Chaux	7,09	6,82
Soude	17,96	17,54
Potasse	0,16	0,23
Acide carbonique	6,20	6,12
Eau	3,99	4,07
	101,25	100,77

L'auteur admet, d'après cette analyse et l'examen microscopique, une combinaison, et non un mélange, d'un silicate et d'un carbonate, suivant la formule $4(2,25.SiO^2,Al^2O^3Na^2O) + 2CO^2CaO + 3H^2O$.

La *microsommite* qui est un remarquable produit de sublimation des laves du Vésuve, a donné à l'analyse les résultats suivants :

Silice	31,94
Alumine	28,18
Chaux	10,23
Soude	11,85
Potasse	7,84
Chlore	7,04
Acide sulfurique	3,69
Acide carbonique	1,47
	102,04

ou $6(2SiO^2, Al^2O^3, Na^2O) + (CaOSO^3, 2NaCl)$.

La microsommite cristallise dans le système hexagonal sous une forme extrêmement voisine de celle de la néphéline.

Microsommite : *a* : *c* =	1 : 0,83
Néphéline	1 : 0,869

— M. *Streng* (1) a publié de nombreuses analyses de diverses variétés de *chabasie.*

Chabasie dans le basalte amydaloïde de Nidda. — densité = 2,133.

Moyenne SiO^2	46,35	K^2O	0,21
Al^2O^3	20,52	H^2O à 300°	14,35
CaO	10,83	H^2O au-dessus	7,74
		H^2O total	22,09

Ce qui correspond à la formule :


$3,85SiO^2\ Al^2O^3CaO + 6,15H^2O.$

Chabasie dans le basalte amydaloïde décomposé sur le chemin d'Altenbusek à Daubringen.

Moyenne SiO^2	50,75	K^2O	2,27
Al^2O^3	16,06	Na^2O	1,38
Fe^2O^3	1,43	H^2O à 300°	14,71
CaO	6.65	H^2O au-dessus	6,75
		H^2O total	21,46

Ce qui correspond à la formule :


$5,09SiO^2,\ Al^2O^3CaO + 7,25H^2O.$

Chabasie du basalte amygdaloïde décomposé au pied du plateau près Amerod.

SiO^2	48,98	K^2O	2,06
Al^2O^3	18,49	Na^2O	9,92
Fe^2O^3	1,22	H^2O à 300°	14,72
CaO	6,64	H^2O au-dessus	7,42
		H^2O total	22,04

Ce qui correspond à la formule :


$4,45SiO^2,\ Al^2O^3CaO + 6,53H^2O.$

Phakolite d'Annerod sur le chemin de Rôdchen. Densité : 1,215.

SiO^2	46,82	K^2O	0,40
Al^2O^3	19,29	Na^2O	0,70
Fe^2O^3	0,14	H^2O à 300°	14,98
CaO	10,29	H^2O au-dessus	7,38
		H^2O total	22,36

Ce qui correspond à la formule :

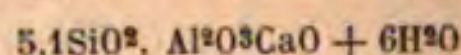

$4,12SiO^2,\ Al^2O^3CaO + 6,5H^2O.$

Il résulte de ces analyses que, dans la chabasie, comme dans toutes les zéolites, la quantité d'oxygène de l'alumine est toujours rigoureusement le triple de la quantité d'oxygène des bases protoxydes. La quantité d'oxygène de la silice, rapportée au composé

(1) *Zeit. für Kr.* I, 519 (par extrait).

Al^2O^3CaO, varie, au contraire, de 7,70 à 10,18. La qua
gène de l'eau, rapportée au même composé, ne varie
7,25. On sait d'ailleurs quelle est la difficulté d'un d
de l'eau dans les zéolites.

M. Damour a trouvé pour la formule de la gmélinite



$$5{,}1SiO^2,\ Al^2O^3CaO + 6H^2O$$

et la formule de la Lévyne, encore contestée, paraît ê
sine. L'auteur pense qu'il convient de réunir à la Ch
seulement l'Herschellite et la Seebachite, comme le v
Rath, mais encore la Lévyne et la Gmélinite. En effe
rapporte ces deux substances au rhomboèdre primit
de la chabasie, la pyramide habituelle de la gmélinit
notation simple $(20\bar{2}3) = a^{\frac{5}{2}}$, et le rhomboèdre de la Lé
tation également peu compliquée $(30\bar{3}4) = a^7$.

— Par de très nombreuses analyses de Christianite
personnelles, et par la comparaison de ces analyses
antérieurement connues (1), M. *Fresenius* a montré q
chose était constante dans cette espèce : à savoir le ra
l'oxygène de l'alumine et celui des bases protoxydes.
est toujours de 3 à 1. Quant à l'oxygène de la silice, il
de 6 à 9.68. On vient de voir que M. Streng est arrivé à
sions analogues, en ce qui concerne la chabasie, et M.
en comparant entre elles les analyses connues de stilbi
que le rapport de l'oxygène de la silice à celui de la base
peut varier pour cette substance de 10 à 13.34.

Il semble donc que pour chaque espèce zéolitique en
il puisse y avoir dans les proportions de silice des vari
sentant quelque analogie avec celles qu'on trouve dans
tion des différents membres de la série feldspathique. L
le plus certain des zéolites serait alors le rapport de
d'eau à la quantité pondérale, représentée par le group
Toutefois, les variations dans la quantité de silice, sont
pour chaque espèce, entre des limites restreintes.

— La *Freieslebenite* est un sulfoantimoniure d'argent
$(Ag^2Pb)^5Sb^4S^{11} = 5\,(Ag^2Pb)\,S + 2Sb^2S^3$, que l'on rencontr
laencina (Espagne), à Freyberg et à Przibram. M. von Ze

---

(1) *Zeit. für Kr.*, III, 1.

montré que les échantillons de ce minéral étaient, les uns monocliniques ($xz = 92°14'$), les autres rhombiques, avec uue forme très-voisine. Il a donné au minéral rhombique le nom de *Diaphorite*. M. *von Lasaulx* a constaté que les deux variétés ont sensiblement la même densité = 6.040 en moyenne et que la composition chimique est identique. Il y a probablement là un exemple de dimorphisme par croisement de réseaux à formes limites.

— M. *Pisani* (1) a analysé la *tunnérite* de Tavetsch et a trouvé la composition suivante :

Acide phosphorique	28,4
Oxydes de cérium et de lanthane	68,0
	96 4

La quantité d'oxyde de lanthane est d'environ 8.9.

— M. *Rammelsberg* a publié les analyses suivantes de l'*Œschynite* et de la *Samarskite*.

Œschynite. — Densité 5,168.

Acide niobique	32,51
— titanique	21,20
— thorique	17,55
Oxydes de cérium, linthane et didyme	19,41
Yttria et Erbine	3,10
Sexquioxyde de fer	3,71
Chaux	2,50
	99,98

d'où l'on déduit l'une des formules :

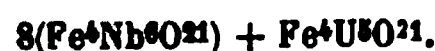


$$R^2Nb^2(Ti, Th)^3O^{14} \quad \text{ou} \quad R^3Nb^3(Ti, Th)^4O^{20}.$$

Samarskite. — I. (Miask) D = 5,672; II. Mitchell County, N. Cor) D = 5,839.

	I.	II.
Acide stannique	0,22	0,16
— titanique	1,08	»
— silicique	»	0,56
— tontalique	»	14,36
— niobique	55,34	41,07
Yttine	8,80	6,10
Oxyde d'erbyum	3,82	10,80
— de cérium (Di)	4,33	2,37
Sexquioxyde de fer	14,30	14,61
Oxyde d'urane	11,94	10,90
	99,83	100,93

d'où la formule :



$$8(Fe^4Nb^6O^{21}) + Fe^4U^5O^{21}.$$

(1) *C. R.*, 1877, 5 mars.

§ 3.

REPRODUCTION ARTIFICIELLE D'ESPÈCES MINÉRALES.

Si l'on met de côté les procédés électriques employés autrefois par Becquerel, les procédés mis en œuvre pour reproduire les diverses espèces minérales peuvent se ramener aux trois types suivants :

1° *Voie sèche*, soit que la matière fondue cristallise par refroidissement, soit qu'une réaction chimique, suivie d'une cristallisation se produise au sein d'une masse rendue liquide sous l'action de la chaleur ;

2° *Action des vapeurs à haute température* sur d'autres vapeurs ou sur des corps solides, soit que ces actions consistent en des réactions chimiques proprement dites, soit qu'elles consistent en des actions de déplacement encore assez obscures ;

3° *Voie humide*, à haute ou à basse température.

Voie humide.

M. *Daubrée* (1) a signalé récemment, dans un béton romain provenant de travaux faits dans des sources thermales de la province d'Oran, la présence de la châbasie et de la christianite.

— M. *S. Meunier* (2) a reproduit la *brochantite* sous forme de petites rosettes cristallines en plongeant de la galène dans une solution de sulfate de cuivre.

— M. *S. Cloëz* (3) a reproduit le natron, en faisant agir à la température ordinaire le chlorure de sodium sur le bicarbonate de magnésie. Il fait remarquer qu'on peut ainsi s'expliquer la production du natron sur le bord des lacs dont les eaux sont très-chargées de chlorure de magnésium.

Vapeurs à haute température.

— M. *Margottet* (4) a obtenu le sulfure d'argent sous la forme

(1) *C. R.*, 84 (1877).
(2) *C. R.*, mars 1878.
(3) *C. R.*, juin 1878.
(4) *C. R.*, décembre 1877.

de dodécaèdres rhomboïdaux en faisant passer de la vapeur de soufre entraînée par un courant d'azote sur de l'argent au rouge sombre. L'argent se recouvre de cristaux et disparaît lentement sans fondre. On obtient de même le séléniure d'argent en dodécaèdres et le tellurure d'argent en chapelets d'octaèdres.

Le sulfure cristallisé est intégralement transformé en argent filiforme par un courant d'hydrogène à partir de 440°, température très-inférieure à celle de la fusion du sulfure. Les aigrettes deviennent ensuite des fils qui s'allongent en grossissant et présentent au bout de quelques temps l'aspect de rubans contournés en spirale, entremêlés à de petits fils capillaires. L'argent a l'aspect d'un minéral étiré à la filière sans trace de cristallisation. L'ensemble paraît offrir à l'auteur la plus grande ressemblance avec les associations naturelles de sulfure cristallisé et d'argent filiforme.

Voie sèche.

— C'est par le refroidissement lent d'une masse fondue que Berthier a pu jadis reproduire du pyroxène lamelleux; c'est par des réactions au sein d'une masse fondue qu'Ebelmen a reproduit un si grand nombre d'espèces minérales; que MM. Henri Sainte-Claire Deville, Caron et Troost ont reproduit les apatites, les wagnérites, la wurzite, etc.; que M. Hautefeuille a reproduit le sphène, la perowskite, l'enstatite, et produit des titanates bibasiques que la nature ne nous offre pas.

MM. *Frémy* et *Feil* (1) ont obtenu récemment, par un procédé qui rappelle celui d'Ebelmen, du corindon cristallisé dont ils avaient placé au palais du Champ de Mars de remarquables échantillons. Ces savants chauffent au rouge vif, dans un creuset de terre, de l'alumine et du minium; la silice du creuset réagit sur l'aluminate de plomb fusible qui se forme; une couche fondue de silicate de plomb se produit à la partie supérieure du creuset, recouvrant une partie cristalline et géodique qui contient de beaux cristaux de corindon. On colore les cristaux en rose par le bichromate de potasse, en bleu par l'oxyde de cobalt.

En soumettant à une température rouge pendant plusieurs heures un mélange à poids égaux de fluorure d'aluminium et de silice, les mêmes savants ont constaté que du fluorure de silicium se dégage

(1) *C. R.*, décembre 1877.

et qu'il reste dans le creuset des cristaux aciculaires biréfringents appartenant à un système oblique contenant :

Silice.	47,65	contenant Oxyg. . . .	25,4
Alumine.	51,85.	. . . .	24,2

Les auteurs assimilent ces cristaux au disthène $SiO^2 Al^2O^3$, quoique l'analyse qu'ils donnent s'éloigne beaucoup, comme on le voit, de la composition de ce minéral. Cette analyse conduirait bien plutôt à la formule $3SiO^2, 2Al^2O^3$. Ce serait un péridot dans lequel tout le protoxyde serait remplacé par un sesquioxyde. On ne connaît aucun composé naturel ayant une semblable composition.

En chauffant à une température élevée et pendant longtemps poids égaux d'alumine et de fluorure de baryum dans un creuset de terre, les auteurs ont obtenu sur les parois d'un deuxième creuset introduit dans le premier, de longs prismes incolores qui paraissent s'être formés par sublimation. L'analyse a donné pour leur composition :

Silice.	34,39	contenant Oxyg. . . .	18,3
Baryte.	35,04	. . . .	3,6
Alumine.	30,37	. . . .	14,1

C'est encore un péridot dans lequel les bases sont de la baryte et de l'alumine.

Au fond du creuset on trouve des cristaux de corindon colorés en rose par l'addition d'un peu de bichromate de potasse.

— En 1868, M. Strüver a découvert dans l'anhydrite de Moutiers un minéral, qu'il a appelé Sellaïte, ayant pour formule $MgFl^2$ et cristallisant dans le système quadratique. M. *Alfonso Cossa* (1) a préparé le même composé en mettant en présence à 100° du sulfate de magnésie et un fluorure alcalin. Mais la substance n'était point cristallisée. Fondue à la température de fusion de la fonte, elle a donné par refroidissement une masse cristalline dont on a pu extraire des cristaux qui, d'après l'examen qu'en a fait M. Strüver, sont identiques à ceux de la Sellaïte.

— M. *Hautefeuille* (2) a reproduit la *tridymite* en tables hexagonales en chauffant à 1.000° de la silice amorphe dans un bain fondu de tungstate de soude. Au-dessus de 1.000° la tridymite disparaît et il se produit un silicate qui régénère de nouveau la tridymite entre 900 et 1.000°. C'est à la formation primitive, puis

(1) *Mem. della R. Ac. dei Lincei.* Décembre 1876.
(2) *Bulletin de la Soc. min. de France,* I, 1. Avril 1878.

à la destruction ultérieure de ce silicate, que M. Hautefeuille attribue la cristallisation de la silice. Si l'on ne chauffe qu'à la température strictement nécessaire pour maintenir en fusion le tungstate de soude, c'est-à-dire à 750° environ, les grains de silice amorphe disparaissent et sont remplacées par des agglomérations de bâtonnets transparents. Après plusieurs centaines d'heures de chauffe, on observe des doubles pyramides hexagonales ayant toutes les propriétés du quartz, avec une densité comprise entre 2,61 et 2,65. Les cristaux portent les faces du prisme e^2 surmontés par un pseudo-isoscéloèdre, formé des deux formes birhomboédriques e^5 et e^1 coexistant avec le pseudo-isoscéloèdre ordinaire du quartz, p et $e^{\frac{1}{2}}$, beaucoup moins développé.

Lorsqu'on substitue au tungstate de soude, du tungstate de lithine, on obtient des pyramides beaucoup plus aiguës encore que la pyramide e^5e^1 dont la hauteur est double de celle de la pyramide $pe^{\frac{1}{2}}$.

Il est très-intéressant de voir que les cristaux de quartz préparés par M. Hautefeuille, par un procédé très-curieux, mais qui s'éloigne beaucoup sans doute de celui de la nature, ne sont pas conformes au type si remarquablement constant des cristaux de la nature, tandis que les cristaux de quartz préparés par M. Daubrée, par voie humide à haute température reproduisent, jusque dans les plus petits détails, la forme des cristaux naturels.

— En portant au rouge sombre un mélange d'acide tungstique et d'un silicoaluminate de soude très-alcalin, M. *Hautefeuille* (1) a constaté qu'au milieu du tungstate de soude qui se forme et qui fond, se développent des cristaux qui grossissent lentement. Ces cristaux débarrassés par l'eau bouillante de l'excès de tungstate de soude, ont exactement la composition et la forme de l'albite. Ils sont assez gros, lorsqu'on a maintenu la fusion pendant un mois, pour qu'on puisse en mesurer les angles en se servant d'une vive lumière. Ces remarquables cristaux dont, grâce à la générosité de l'auteur, l'École des mines possède de beaux échantillons, présentent l'aspect des cristaux d'albite du Dauphiné ; ils sont mâclés ; l'axe d'hémitropie est perpendiculaire à g^1 ou plus souvent parallèle à l'arête m/t. Les phénomènes optiques, sauf ceux de la dispersion qui n'ont pas été étudiés, ont été reconnus identiques à ceux de l'albite.

(1) *C. R.*. t. LXXXIV, p. 1301 et t. LXXXV, p. 952. 1877.

En substituant un silicoaluminate de potasse au silicoaluminate de soude, on voit se former d'abord de la tridymite, de l'orthose et des feldspaths tricliniques. La tridymite et les feldspaths tricliniques ne tardent pas à disparaître, si l'on continue à chauffer, et leurs éléments vont accroître les cristaux d'orthose qui restent seuls au bout de 20 jours de chauffe. Les cristaux, dégagés par l'eau bouillante du tungstate de soude en excès ont les angles, la composition et la densité de l'orthose naturelle.

Lorsqu'on a chauffé à un peu plus de 1000° (température maxima à laquelle la préparation réussit) les cristaux sont des prismes m terminés par le biseau p et a^1; il n'y a pas de stries.

A 900° environ les cristaux sont plus allongés; ils sont terminés par le biseau p, a^1 et le biseau incliné $b^{\frac{1}{8}}$ (non observé dans la nature), dont les faces sont striées parallèlement à p.

Des plaques minces parallèles à p s'éteignent suivant la diagonale; cependant quelques-unes présentent 4 secteurs limités par les diagonales et qui s'éteignent à 2° environ, les uns à droite, les autres à gauche de la diagonale. M. Hautefeuille fait remarquer que ce phénomène est analogue à celui que l'auteur de ces extraits a signalé dans certains cristaux d'orthose naturels (1).

— M. *Vélain* (2) a étudié des masses vitreuses de diverses provenances, provenant de l'incendie de meules de blé ou de foin. L'examen microscopique lui a montré, avec l'aide de la lumière polarisée, dans la matière vitreuse, amorphe et fluidale qui forme la plus grande partie de ces masses, 1° des cristaux bien définis d'augite légèrement verdâtre, aplatis suivant h^1, avec les pointements $b^{\frac{1}{2}}$; 2° de longs microlites incolores que l'auteur rapporte au pyroxène; 3° des microlites en lamelles allongées hémitropes, que les caractères optiques font rapporter à l'anorthite; ces microlites sont entourés de pyroxène et doivent s'être consolidés avant ce dernier minéral, ainsi que cela s'observe dans les roches; 4° de petits cristaux lamellaires, confusément groupés, qui appartiennent à la wollastonite; 5° des lamelles hexagonales de tridymite qui se présentent dans les parties très-brillantes et superficielles de la masse vitreuse; 6° des globules d'opale montrant la croix noire; 7° enfin de petits prismes aiguillés d'apatite.

— M. *Boussingault* (3) a signalé du fer oxydulé cristallin en oc-

(1) *Ann. des mines*, t. X, 7e série, 1876.
(2) *Bulletin de la Société minéralogique de France*. 1878. — 7.
(3) *C. R.*, 83.

taèdres qui a été formé par le grillage d'un minerai de fer carbonaté et rencontré dans une lézarde des parois d'un four de grillage à Ria (Pyrénées-Orientales). Les octaèdres dont les faces sont formées en trémies sont implantées sur une croûte de fer oligiste cristallin.

— M. *Gruner* (1) a fait connaître la formation de cristaux de pyroxène dans des circonstances assez remarquables. A l'usine de Bleenavon (pays de Galles) on fabrique, à l'aide d'un calcaire argilo-magnésien, des briques à grand excès de base, destinées à recouvrir l'intérieur des cornues Bessemer. Les briques sont soumises pendant plusieurs jours à un feu très-vif, dans un four à parois siliceuses. Dans la première opération, les briques qui touchaient les parois siliceuses ont fondu, et après le défournement on a trouvé au fond du fourneau de beaux cristaux prismatiques, ayant les caractères physiques et cristallographiques du diopside. Les cristaux contiennent 27.8 p. 100 de chaux, 18.9 de magnésie, 0.3 seulement de sesquioxyde de fer, et pas d'alumine. Ce qu'il y a ici de remarquable outre la grandeur et la netteté des baguettes de diopside, c'est l'absence d'alumine dans les cristaux formés dans un milieu très-alumineux, puisque les briques contiennent 11.2 p. 100 d'alumine.

— MM. *Fouqué* et *Michel Lévy* (2) ont annoncé qu'en chauffant pendant longtemps à la température voisine de la fusion un mélange de silice, d'alumine et de soude, en proportions convenables, avec du feldspath pulvérisé, on peut obtenir du feldspath et d'autres minéraux à l'état cristallin.

Le mélange fondu est rapidement transporté sur un bec Bunsen soufflé par une trompe, et abandonné pendant 48 heures à une température aussi peu inférieure que possible à celle du point de fusion. Après ce délai, le creuset est refroidi sans autre précaution. On obtient une masse d'aspect porcelainique, dont l'examen au microscope, en lames minces, laisse voir la structure cristalline.

L'*oligoclase* se trouve en petits cristaux très allongés et fibreux, suivant pg^1, mâclés suivant la loi de Baveno (axe d'hémitropie normal à $e^{\frac{1}{2}}$) et plus rarement suivant celle de Carlsbad (axe d'hémitropie parallèle à l'arête verticale g^1h^1). Les caractères optiques,

(1) *C. R.* Déc. 1878.
(2) *C. R.* Nov. et déc. 1878.

décrits avec soin par M. Michel Lévy, dans le travail publié dans ces *Annales*, ne laissent aucun doute sur l'attribution de ces petites fibres cristallines à l'oligoclase.

Le *labrador*, formé dans les mêmes conditions est mieux cristallisé que l'oligoclase. Les cristaux présentent avec netteté la mâcle de l'albite, fréquemment répétée. L'allongement a lieu presque exclusivement suivant l'axe pseudobinaire pg^1.

Pour l'*albite*, les cristaux sont en moins grand nombre et plus fins.

L'*anorthite* a donné une masse presque entièrement cristalline, avec des cristaux relativement grands, et remarquables par leur netteté. La plupart sont des cristaux allongés, suivant l'arête pg^1, ayant jusqu'à un millimètre de longueur, généralement mâclés par hémitropie, autour d'une normale à g^1 (loi de l'albite), parfois par hémitropie, autour d'une droite normale à $e^{\frac{1}{2}}$. D'autres cristaux sont aplatis suivant g^1. On remarque dans ces cristaux des inclusions vitreuses et gazeuses, semblables à celles qu'on rencontre dans l'anorthite des roches.

Quant à l'*orthose*, on n'a pas pu obtenir une cristallisation nette et la masse vitreuse s'est montrée seulement chargée d'un réseau délicat de petites fibres d'une finesse extrême, dépolarisant la lumière en s'éteignant dans le sens de la longueur. Chaque groupe de fibres montre deux orientations croisées à angle droit.

En opérant sur un mélange de labrador et d'augite naturels porphyrisés ($\frac{3}{4}$ de labrador et $\frac{1}{4}$ d'augite), après un recuit de 72 heures, on a obtenu une roche cristalline identique à certaines variétés non péridotiques des laves communes de l'Etna. Le labrador y est en microlites (petits cristaux bacillaires) allongées suivant pg^1, et en grands cristaux mâclés suivant la loi de l'albite. Le *pyroxène* s'y montre en petits cristaux jaune verdâtre, légèrement allongés suivant l'arête verticale g^1h^1, avec développement prédominant des faces g^1 et h^1. La consolidation de l'augite s'est faite postérieurement à celle du labrador. On trouve enfin dans le magma cristallin des grains de *fer oxydulé* en cubes et en octaèdres qui, comme dans les roches, ont cristallisé avant le pyroxène et le feldspath.

Par le même procédé les auteurs ont pu reproduire la *néphéline* cristallisée en mélangeant les éléments de manière que les proportions d'oxygène de la silice de l'alumine et de la soude soient dans le rapport 4 : 3 : 1. La néphéline est alors composée en majeure partie de petits prismes hexagonaux uniaxes. Lorsque le rapport est 4,5 : 3 : 1, on obtient une néphéline hexagonale composée

de petits cristaux élémentaires groupés d'une manière complexe comme la calcédoine des roches.

En faisant cristalliser les éléments de $\frac{1}{10}$ de pyroxène et $\frac{9}{10}$ de néphéline, on obtient de la néphéline bien cristallisée, un *spinelle* vert octaédrique, un *grenat* mélanite dodécaédrique et des microlites très-allongés incolores. La même association naturelle a été observée par les auteurs dans une roche de Ditro (Ditroïte), qui présente la néphéline à l'état de groupements multiples semblables à ceux de la calcédoine.

Un mélange des éléments constituants de l'*amphigène* a donné de petits polyèdres sphéroédriques, montrant en plaque mince, comme le leucitoèdre a^2, des plaques souvent octogonales. Les phénomènes optiques sont semblables à ceux de l'amphigène naturelle.

Les auteurs ont produit aussi simultanément l'amphigène et le pyroxène. Ce dernier minéral forme couronne autour de l'amphigène, ou s'y implante radialement. On obtient en même temps du fer oxydulé et de l'oligiste.

Nous n'avons pas besoin de faire remarquer l'importance des expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy, pour l'explication de la genèse des roches volcaniques. L'insuccès relatif qu'ils ont obtenu avec l'orthose semble d'accord avec l'opinion générale, qui admet que les roches particulièrement riches en orthose comme les granites, se sont formées dans des conditions différentes de celles au milieu desquelles ont pris et prennent encore naissance les laves et les roches analogues.

— S'il est intéressant de reproduire artificiellement les substances minérales, il l'est aussi de reproduire les accidents que présentent quelquefois ces substances. M. *Daubrée* (1) a cherché à expliquer et à reproduire les stries que l'on rencontre souvent sur les diamants noirs de Bahia. On hésitait à attribuer ces stries à des rayures qui paraissaient difficiles à produire sur une matière aussi dure. Mais M. *Daubrée* s'est assuré qu'on produisait des stries analogues en faisant frotter deux diamants noirs l'un contre l'autre sous la simple pression de la main.

---

(1) *C. R.*, 83.

§ 4.

ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES.

Silicates.

M. *Émile Bertrand* (1) a donné le nom de FRIEDELIT[E au sili]cate hydraté de manganèse $3SiO^2, 4MnO + 2H^2O$, qui s[e présente en] paillettes hexagonales plus ou moins intimement soudé[es...] réfraction uniaxe négative.

De petits cristaux assez rares montrent le rhomboè[dre...] la base a^1, et le prisme e^2. L'angle pa^1 est égal à 147°[...] rhomboèdre est donc égal à 123°42′, et le rapport des a[xes]

$$a : h = 1 : 0,5624.$$

La couleur est rose carmin, plus foncée que celle [de la rho]donite (SiO^2MnO); poussière d'un blanc rosé. Dens[ité...] Dureté = 4,75. Facilement fusible en verre noir, don[ne de l'eau] dans un tube; se dissout facilement en gelée dans l'[acide chlo]rhydrique.

On a trouvé cette espèce dans le gîte de manganè[se d'Adervielle], vallée de Louron (Hautes-Pyrénées), où elle est ac[compagnée] de diallogite (mang. carbonaté) et d'alabandine (mang. [sulfuré].

— M. *von Kokscharow* (2) décrit un nouveau minéral, la [...] que M. V. Redikoszew a découvert en 1874, dans la m[ine Ni]colas Maximilien, non loin d'Achmatowsk, au sud de [...] qu'il avait pris pour du clinochlore.

Trouvé dans un schiste chloriteux, accompagné de p[...] Cristaux bien formés à faces peu réfléchissantes. En ta[bles hexa]gonales très-semblables à celles du clinochlore et de l[...] dont elles se distinguent par une dureté plus grande =[...] 3,0,93. Couleur verte. Éclat vitreux et nacré, sur le [...] clivage; dichroïque, les axes optiques très-écartés sont p[...] le plan g^1.

Cristallisation rhombique avec symétrie monoclinique[...]

(1) *C. R.*, 82, p. 1167.
(2) *N. Jahrb. für Min.*, 1877, 8.

très-semblables à ceux du mica formés par les combinaisons : p, $e^{\frac{1}{2}}$, $o^{\frac{1}{4}}$; m, g^3, $b^{\frac{1}{2}}$, $d^{\frac{1}{2}}$, $\left(b^{\frac{1}{4}}\ b^{\frac{1}{8}}\ h^1\right)$.

$$a : b : c = 1 : 1{,}73205 : 0{,}70729 \quad \text{ou} \quad 0{,}5773 : 1 : 0{,}4928.$$

Mâcles très-fréquentes, semblables à celles du mica, avec m pour plan d'hémitropie. Plan de juxtaposition (comme dans le mica), tantôt m, tantôt p. Composition chimique :

		Xanthophyllite (A. Knapp).
Silice	16,90	16,38
Alumine	43,55	43,69
Oxyde de fer	2,31	2,50
Protoxyde de fer	0,33	»
Chaux	13,00	11,50
Magnésie	17,47	20,70
Eau	5,07	2,61
	98,63	

La valuewite n'est donc que la xanthophyllite (Rose), espèce voisine de la brandisite (Haidinger) et de la clintonite. La formule chimique est $3SiO^2$, $4Al^2O^3$, $6RO$:

— La Szaboïte (*Koch*) (1) est un silicate de sesquioxyde de fer $3SiO^2$, Fe^2O^3 dans lequel l'oxygène de la base est moitié de celui de la silice. Il appartient donc à la série pyroxénique, comme l'achmite, etc. Cristaux très-petits, tricliniques, en tables très-minces, aplaties suivant h^1, limitées latéralement par les faces m, t, g^1, terminées par le biseau incliné $d^{\frac{1}{2}}$ et $f^{\frac{1}{2}}$ modifié par de petites facettes $e^{\frac{1}{2}}$ et $i^{\frac{1}{2}}$. Les angles mesurés sont les suivants :

		Babingtonite.	Pyroxène.
th^1	= 133° 34'	134° 50'	133° 32'
mh^1	= 133° 42'		
tg^1	= 137° 37'	137° 20'	136° 27'
mg^1	= 134° 59'		
$h^1f^{\frac{1}{2}}$	= 115° 13'		126° 10'
$h^1d^{\frac{1}{2}}$	= 114° 45'		
$f^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{2}}$	= 127° 44'		131° 27'

Quoique les paramètres n'aient pu être établis avec précision, on peut considérer comme assuré que la szaboïte est pseudo-iso-

(1) *Tsch. Min. Mitt.*, I, 4.

morphe avec le pyroxène, comme la babingtonite. La szaboïte est donc intéressante, car c'est le premier exemple d'un silicate ayant presque exclusivement pour base un sesquioxyde dont on constate l'isomorphisme approché avec le pyroxène. Cet exemple contribue à lever les doutes qui pouvaient encore s'élever sur la question de savoir si, dans les silicates, l'oxygène des bases sesquioxydes peut, dans certains cas, jouer le même rôle chimique que celui des bases protoxydes.

Pas de clivages apparents, le microscope montre des fissures qui indiquent un clivage h^1.

Dureté > 6. Densité = 3,505. Couleur brune, rouge par transparence dans les lames très-minces. Les petits cristaux, entre deux Nicols croisés s'éteignent suivant une direction qui fait un angle de 2 à 3° avec la hauteur (1).

— La HOMILITE (*Paijkull*) (2) est un minéral noir ou noir brunâtre associé au mélinophane et à l'erdmannite de Stockoë près Brevig (Norwége). D'après les observations de M. *Des Cloizeaux* (3), le minéral est monoclinique pseudo-rhombique ; $ph^1 = 90°32'$, $mm = 11$[illegible]. les paramètres des axes sont :

$$0,5299 : 0,8480 : 1,0875.$$

Les cristaux sont des espèces d'octaèdres formés par l'association des faces m, e^2, p, prédominantes, avec la présence de e^1, d^1, $b^{\frac{1}{2}}$. La substance est presque complétement isomorphe avec la gadolinite et la datolite.

La bissectrice aigüe *positive* est parallèle à l'arête verticale (caractère rhombique), mais avec dispersion horizontale très-marquée ; $\rho > v$. Le plan des axes optiques est normal au plan de symétrie. Angle des axes dans l'huile = 97° à 98°. Certains cristaux sont entièrement biréfringents ; d'autres se composent d'un noyau vert biréfringent entouré d'une croûte jaunâtre monoréfringente ; d'autres enfin sont complétement monoréfringents.

---

(1) M. von Lasaulx a retrouvé tout récemment la szaboïte à Biancavilla dans l'Etna ; il en a trouvé tout récemment aussi des échantillons sur un trachyte du Riveau-Grand (mont Dore), dans la collection de M. Gonnard, à Lyon.

(2) *Ver. der Geol. Ver. in Stockholm*, III, 7, et *N. Jahrb. für Min.*, 1877, 5, par ext.

(3) *Ann. de Chimie et de phys.* Nov. 1877.

	PAIJKULL.	DAMOUR.	*Oxygène.*	
Silice.	31,87	33,00		17,60
Acide borique (diff.).	18,08	15,21		10,42
Alumine.	1,50	»		»
Ox. ferrique.	2,15	»		»
Ox. ferreux.	16,25	18,18	4,04	
Manganèse.	»	0,74	0,16	
Chaux.	27,28	27,00	7,71	
Magnésie.	0,52	»	»	
Ox. de cerium, lanth. et didyme.	»	1,56	0,36	12,55
Soude.	1,09	1,01	0,28	
Potasse.	0,41	»	»	
Eau et mat. volatiles.	0,85	2,30	1,84	
	100,00	100,00		

La formule chimique est donc :



$$2SiO^2, Bo^2O^3, 3(Ca, Fe)O,$$

que l'on peut rapprocher de la formule de la datolite :



$$2SiO^2, Bo^2O^3, 3(Ca, H^2)O.$$

Il semble donc qu'au point de vue chimique, on peut considérer la homilite comme une datolite dans laquelle l'hydrogène a été presque complétement remplacé par du fer ou du calcium.

— J'ai eu l'occasion d'observer (1), au milieu d'un système de couches horizontales qui reposent sur les couches inclinées du terrain houiller de Noyant (Allier), et contiennent elles-mêmes des bancs de combustible, un minéral singulier que j'ai désigné sous le nom de Bravaisite. Il forme, à lui seul, une couche dont l'épaisseur, difficile à observer, paraît excéder $0^m,30$. Cette couche s'étend sur une assez grande surface et d'une manière régulière.

La bravaisite est d'aspect argileux ; elle est très-finement schisteuse, parallèlement à la stratification. Couleur gris ou gris verdâtre ; très-fortement translucide sur les bords. Usée en lames minces parallèlement à la schistosité, elle paraît, au microscope polarisant, très-homogène et parsemée seulement de petits cristaux cubiques à éclat métallique, qui ne deviennent visibles qu'à un fort grossissement, et qui sont vraisemblablement de la pyrite de fer. La matière est composée de fibres biréfringentes, parallèles exactement à la schistosité, et s'éteignant suivant la longueur. Les fibres sont parallèles ; quelques-unes cependant croisent les autres à angle

(1) *Bulletin de la Soc. min.*, I, 1.

droit. Dans la lumière convergente, les lames montrent des hyp
boles centrées, très-nettes, accompagnées de traces de lem
cates colorées. Double réfraction négative. Écartement des a
dans l'air = 40° environ. Le système cristallin du minéral pa
donc être rhombique.

A l'état humide, consistance gluante et plastique. Toucher s
vonneux. Densité = 2,6. Au chalumeau, dégage de l'eau en se c
lorant en brun; fond très-aisément en un globule blanc; se m
facilement en suspension dans l'eau et est attaquée par les acid

D'après une analyse faite au bureau d'essais de l'École d
mines, le minéral est assez exactement représenté par la formule:



$4{,}5\ SiO^2,\ Al^2O^3,\ RO + 4\ aq,\quad RO = 2\ \%\ CaO,\ 3{,}3\ MgO,\ 6{,}5\ K^2O.$

C'est donc une zéolite potassique. La substance peut être rappro
chée de la glauconie, qui, d'après Hausofer, aurait la composition:



$4{,}5\ SiO^2,\ Fe^2O^3,\ K^2O + 3\ aq.$

Les zéolites potassiques semblent ainsi former, à côté du group
sodique et calcaire si remarquable par ses belles formes crista
lines, un groupe cryptocristallin.

Il est fort curieux de rencontrer en couche, au milieu d'un te
rain sédimentaire, un minéral silicaté très-homogène et dont la
cristallisation a épousé en quelque sorte la stratification de la m
nière la plus régulière. Cette couche est d'ailleurs surmontée par
des couches alternantes de calcaire siliceux. Il n'est pas douteux
que tout cet ensemble d'assises n'ait une origine hydrothermale.

— M. *Esmark* a donné le nom de FREYALITE à une matière minérale
qu'il a recueillie aux environs de Brevig (Norwége). M. *Damour* (1)
en a fait connaître les caractères et la composition chimique :

Couleur brune; éclat résineux; demi-transparent en minces
éclats. Raye faiblement le verre. Densité = 4,06 à 4,17. Dégage de
l'eau dans le matras, décrépite et blanchit; se gonfle et reste infu-
sible. Facilement attaqué par les acides, en laissant de la silice gé-
latineuse; avec l'acide chlorhydrique, dégage du chlore.

Silice.	20,02
Oxyde céroso-cérique.	28,80
Oxydes de lanthane et de didyme.	2,47
Thorine.	28,39
A reporter.	79,68

(1) *Bulletin de la Soc. min.*, I, 3.

Report.	79,68
Alumine et zircone ?	6,31
Oxyde ferrique	2,47
Oxyde mangano-manganique	1,78
Potasse et soude	2,33
Eau	7,40
Matières volatiles	0,82
	100,79

L'auteur ne considère l'analyse que comme approximative. La composition est voisine de celle de l'eukrasite de M. Paijkull. On pourrait aussi rapprocher le minéral de la thorite, en admettant qu'une notable proportion de la thorine s'y trouve remplacée par les oxydes de cérium, de lanthane et de didyme.

— Vénérite. — Hydrosilicate d'alumine, de magnésie, de cuivre et de fer, en poudre d'un vert pâle, composé de très-petites écailles biréfringentes. Au chalumeau, sur le charbon, se boursoufle et fond en globule noir. Exploité comme minerai de cuivre à John's Mine (Pensylvanie). Déduction faite de 6,22 p. 100 de quartz, M. *Sterry Hunt* (1) a trouvé :

SiO^2	30,83
Al^2O^3	14,67
Fe^2O^3	5,35
FeO	0,29
CuO	17,58
MgO	18,55
H^2O	12,83
	100,00

— Ganomalite (*Nordenskiöld*) (2). — Masses gris blanc, avec vif éclat et double réfraction énergique; sans clivages.

La formule chimique est :



$$SiO^2 (Pb, Mn, Ca, Mg)O.$$

La chaux et la magnésie sont en quantités peu importantes.

Sans couleur ou gris blanc. Éclat gras. Transparent. Densité = 4,98. Dureté = 4. A Långbon, avec téphroïte, jacobsite $(Fe, Mn)^2O^3MnO$, plomb natif et calcite. Très-rare.

— Hyalotékite (*Nordenskiöld*) (2). — Masses cristallines d'un gris pâle, avec deux clivages à peu près rectangulaires, contient de la silice, du plomb, de la baryte et de la chaux. Analyse imparfaite.

(1) *Am. Journ.*, 1877, et *Bull. Soc. Min.*, I, 1.
(2) *Bull. Soc. Min.*, I, 1.

Phosphates, arséniates, antimoniates, niobates.

M. *A. Niès* (1) a signalé l'existence d'un nouveau minéral qu'il appelé la STRENGITE. Il a été trouvé avec kakoxène dans un lit de psilomélane et de minerai de fer isolé au milieu du schiste siliceux dans les déblais de la grande carrière de minerai de fer au pied du Dünsberg, près Giessen, En enduits radiés, rarement en cristaux isolés. Éclat vitreux. Couleur rouge à nulle. Poussière blanc jaunâtre. Densité = 3 à 4. Dureté = 2,87. Au chalumeau fond facilement en un globule noir, colore la flamme en vert jaunâtre et donne la réaction du fer. Soluble dans l'acide chlorhydrique, mais non dans l'acide azotique. L'analyse a donné la formule :



$$P^2O^5, Fe^2O^3 + 4H^2O.$$

C'est donc une scorodite où l'acide arsénique est remplacé par l'acide phosphorique.

Cristallisation orthorhombique. Forme habituelle semblable à celle de la scorodite avec la combinaison $b^{\frac{1}{2}}$, g^1 et h^3.

Paramètres des axes : $a : b : c = 0{,}8435 : 1 : 0{,}9468$

Dans la scorodite, les paramètres sont :

$0{,}8687 : 1 : 0{,}9536$

— MM. *G. Brusch* et *Edw. Dana* (2) ont fait connaître un nouveau gisement de phosphates manganésifères qui se trouve près du village de Branchville, dans le district de Redding, comté de Fairfield (Connecticut), et qui leur a donné plusieurs minéraux nouveaux. Ces minéraux se trouvent engagés dans un filon granitique riche en albite, avec quartz, microcline en grandes masses, un mica ressemblant à la damourite, du triphane en cristaux du poids de 100 à 200 livres, de la cymatolite comme produit de la décomposition du triphane, de l'apatite, etc. (3). Les minéraux nouveaux sont les suivants :

1° EOSPHORITE. — $P^2O^5, 3RO + P^2O^5, Al^2O^3 + Al^2O^3, 3H^2O + RH^2O^2 + 4$ aq.
RO = MnO principalement, avec 7,40 de FeO.

Rhombique : $a : b : c = 0{,}7768 : 1 : 0{,}515$ $mm = 104°24$.

Plans observés : $h^1, g^1, m, g^3, b^{\frac{1}{2}}\left(b^1 b^{\frac{1}{5}} h^{\frac{1}{2}}\right), a_3$.

(1) *Neues Jahrb.*, 1877, 1.
(2) *Zeit. für Kr.* II, 6.
(3) C'est donc un filon de pegmatite semblable à ceux de Chanteloube, où l'on a trouvé jadis les phosphates manganésifères déjà connus, la triplite, etc.

Clivage h^1 parfait. Dureté $= 5$. Densité $= 3,134$. Éclat vitreux ans les cristaux. Le minéral compacte a un éclat gras. Couleur ouge pâle. Transparent à translucide. Poussière blanche. Cassure négale. Axes optiques s'ouvrant dans le plan h^1; la grande diagonale est la bissectrice aiguë. Angle des axes dans l'air $= 54°30'$ our le rouge, $60°30'$ pour le bleu. D. réfr. négative.

2° TRIPLOÏDITE. — $P^2O^5, 3RO + RH^2O^2$. $R = Mn, Fe$, $Mn : Fe = 3 : 1$.

Peut être rapproché de la liebethénite $P^2O^5, 3CuO + CuH^2O^2$.

Monoclinique : $a : b : c = 1,8571 : 1 : 1,494$, $xz = 108° 14'$, $mm = 120° 54'$.

Les plans observés sont m, p (formes dominantes), g^1, h^1, e^1, a_2.

Aggrégats cristallins parallèles ou divergents; quelquefois les cristaux prismatiques sont engagés dans des cristaux de quartz transparents, dont on peut les séparer. Densité $= 3,697$. Dureté $= 4\ 1/2$ à 5. Éclat vitreux à adamantin, inclinant vers l'éclat gras. Couleur brun rougeâtre à jaunâtre. Poussière blanche. Transparent ou translucide. Cassure inégale à conchoïdale. Les lames parallèles à g^1 s'éteignent suivant une direction inclinée de 3 à 4 degrés par derrière sur l'axe vertical.

Le nom de *triploïdite* rappelle la ressemblance chimique et physique avec la triplite.

3° DICKINSONITE. — $P^2O^5, 3RO + \frac{4}{3} H^2O$.

$$R = Mn : Fe : Cu : Na = 5 : 2^1/_2 : 3 : 1^1/_2.$$

En masses cristallines composées de petites lames semblables au mica. Dans ces masses, on trouve souvent disséminés des cristaux d'éosphorite et de triploïdite. Cristaux petits, tabulaires, très-rares. Ressemble à certaines variétés de chlorite, dont elle se distingue, parce qu'elle se brise plus aisément. Monoclinique, pseudo-hexagonal.

$$a : b : c = 1,732 : 1 : 1,2. \qquad xz = 118° 30'.$$

Formes observées : $p, h^1, g^1, b^{\frac{1}{2}}, b^{\frac{1}{4}}, o^{\frac{1}{3}}$.

La forme, semblable à celle de la biotite, est voisine du système rhomboédrique. La lumière polarisée montre que les cristaux sont composés de groupements très-complexes, ainsi que cela a lieu pour les micas et les chlorites.

Clivage basique parfait. Densité $= 3,338$ à $3,343$. Dureté $=$ $3\ 1/2$ à 4. Éclat vitreux, perlé sur le clivage. Couleur des cristaux

les plus purs, vert d'huile à vert olive; les variétés compactes son vert d'herbe, quelquefois même tout à fait foncées. Transparent à translucide. Très-cassant, cassure inégale.

4° LITHIOPHILITE. — $2P^2O^5, 3MnO + P^2O^5, 3Li^2O$,

Composition tout à fait analogue à celle de la triphiline :

$$2P^2O^5, 3RO + P^2O^5, Li^2O, \quad R = Fe, Mn.$$

Se trouve en rognons irréguliers de 1 à 3 pouces de diamètre, engagés dans l'albite et associés avec une substance noire provenant de la décomposition. Le minéral montre quatre directions de clivage; un parfait, un second imparfait à angle droit sur le premier; les deux autres, dirigés parallèlement aux deux plans d'une forme prismatique font entre eux un angle de 50° à 52°; ils sont perpendiculaires sur le premier et font avec le second un angle de 64° 65°. Densité = 3,424 à 3,432. Dureté = 4,3. Cassure inégale demi-conchoïdale. Couleur saumon dans les parties non décomposées. Éclat vitreux à résineux. Transparent en lames minces. Plan des axes optiques parallèle au clivage le plus parfait que l'on peut prendre pour la base; la bissectrice aiguë est à angle droit sur le plan g^1. L'angle de ces axes dans l'huile est de 74° 45′ pour le rouge, 79° 30′ pour le bleu. Double réfraction négative.

En résumé, les caractères sont à peu près ceux de la triphylite, dont la lithiophilite n'est qu'une variété plus riche en manganèse.

5° REDDINGITE. — $P^2O^5, 3MnO + 3\ aq.$

Rhombique. — Forme octaédrique montrant l'octaèdre $b^{\frac{1}{2}}$ dominant, l'octaèdre a_2 et les plans g^1 :

$$a : b : c = 0,8676 : 1 : 0,9485$$

Scorodite : $As^2O^5, Fe^2O^3 + 4aq.$	0,8675 : 1 : 0,9558
Strengite : $P^2O^5, Fe^2O^3 + 4aq.$	0,8435 : 1 : 0,9468

Se trouve en petits cristaux octaédriques isolés, ou plus souvent massive, avec une texture grenue. Associée à la dickinsonite ou à la triploïdite. Le minéral massif montre un clivage dont on n'a pu déterminer l'orientation sur les cristaux. Densité = 3,102 environ. Dureté = 3 à 3 1/2.

Éclat vitreux, couleur rosée avant la décomposition. Poussière blanche. Transparent à translucide. Cassure inégale.

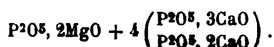
Les auteurs annoncent l'existence d'une sixième espèce, la FAIRFIELDITE $P^2O^5 3RO + 2H^2O$ où R est principalement du manganèse et du calcium.

—MM. *Field* et *S. Maskelyne* (1) ont décrit un nouveau minéral, la LUDLAMITE qui se trouve dans le Cornouailles avec quartz, sidérose, vivianite, mispickel, galène, blende et fluorine. C'est un phosphate hydraté de fer $2P^2O^5, 7FeO + 9H^2O$. Système clinorhombique :

$$a : b : c = 2,2785 : 1 : 2,0351 \quad xz = 100° 33'.$$

Combinaison habituelle : p et $b^{\frac{1}{2}}$; h^1, m et a^1 sont tout à fait subordonnés. Clivage basique parfait; h^1 apparent. Dens. = 3.12. Dureté = 3 à 4. Vert clair; transparent.

— PYROPHOSPHORITE. — Sous ce nom, M. *Shepard* (2) décrit un minéral opaque, blanc de neige avec des portions bleu de ciel, sans éclat, à cassure terreuse. Dens. = 2.50 à 2.53. Fusible difficilement sur les bords. La formule assignée est :



$$P^2O^5, 2MgO + 4\begin{pmatrix} P^2O^5, 3CaO \\ P^2O^5, 2CaO \end{pmatrix}.$$

La localité n'est pas publiée pour des raisons commerciales.

— La SIPYLITE (3) (*J.W.Mallet*) est un niobate hydraté d'erbium et d'yttria, mélangé d'une quantité plus ou moins notable de zircone, d'oxyde de cérium, de lanthane, de didyme, d'uranium, de fer, de chaux, etc. Petites masses offrant des traces d'un seul clivage; très-fragiles, à cassure conchoïdale, translucides, d'un brun rouge et monoréfringentes (Des Cloizeaux) en lames minces. Éclat semi-métallique. Dureté = 6. Dens. = 4,89.

Engagée dans une orthite d'Amherst C^{ty} (Virginie).

—M. *Lawrence Smith* (3) a fait connaître deux nouveaux niobates qui se rencontrent dans la Caroline du Nord avec euxénite et samarskite. Le premier, l'HATCHETTOLITE, cristallise ordinairement en octaédres réguliers. Densité = 4,785 à 4,831. Dureté = 5.

Trois analyses assez concordantes sont données par l'auteur, nous n'en citerons qu'une :

Acide niobique.	66,01
Acide stannique et tungstique.	0,75
Oxyde d'urane.	15,20
A reporter.	81,96

(1) *Zeit. für Kr.*, I, 1.
(2) *Amer. Journ. of Sc.*, 3ᵉ série, 15,
(3) N. *Jahrb.*, 1877, 3ᵉ série, 14, 1877, et *Bull. Soc. Min.*, I, 1.
(4) *C. R.*, 1877, 84, 19.

Report.	81,96
Chaux.	7,72
Yttria et oxyde de cérium.	2,00
Potasse.	0,50
Oxyde de fer.	2,08
Perte.	5.16
	99,42

La Rogersite forme des enduits sur l'euxénite et la samarskite. C'est un niobate hydraté d'yttria.

Acide niobique.	18,00
Yttine.	60,12
Eau.	17,41
	95,53

— L'Atopite (*Nordenskiöld*) (1) cristallise en octaédres réguliers modifiés par le décaèdre rhomboïdal et le cube. La formule chimique est $Sb^2O^5 2RO$;

$$RO = 17{,}51\,\% \; CaO ; 2{,}71 \; FeO ; 1{,}50 \; MnO ; 4{,}32 \; Na^2O ; 0{,}84 \; K^2O.$$

Insoluble dans les acides. Couleur brun jaunâtre; demi-transparent avec éclat gras. Dens. = 5.03. Dureté = 5 à 5.6. Localité : 1° Långban dans le Wermland. Disséminé dans une hédyphane (arséniate de plomb et de chaux).

— L'Ecdémite (*Nordenskiöld*) (1) est massive, à gros grains avec un clivage facile. Uniaxe. La formule est :



$$As^2O^5, 3PbO + 2PbCl^2.$$

Jaune passant au vert. Éclat vitreux sur les faces du clivage; éclat gras dans la cassure. Densité = 7.14. Dureté = 2.5 à 3.

Se trouve près de Långban en petits rognons disséminés dans un calcaire manganésifère.

Une autre substance rhombique paraît à l'auteur être une forme dimorphe de l'ecdémite.

Sulfures, arséniures, tellurures, etc.

M. *Lawrence Smith* (2) a découvert dans les fers météoriques de Colahuila, de Toluca (Mexique), Sevier County, Tennessee et Cranbourne (Australie), un minéral nouveau, associé à la troïlite et qui se présente en petites écailles noires et brillantes, ressemblant à la molybdénite pulvérisée. La cassure est inégale, sauf dans une direction qui paraît coïncider avec un clivage. Se réduit facilement

(1) *Bull. Soc. min.* I, 1.
(2) *C. R.*, t. LXXXIII, p. 74 et t. LXXXVII, p. 338.

en poussière. N'est pas magnétique. Perd son éclat au chalumeau sans fondre ; se dissout complétement à chaud dans l'acide azotique sans dépôt de soufre. Densité = 5.01. La composition est représentée par la formule FeS, Cr^2S^3, analogue à celle de la chrômite FeO, Cr^2O^3. M. L. Smith a donné à ce minéral le nom de DAUBRÉLITE.

— Le nouveau minéral, auquel M. *Vrba* (1) a donné le nom de FRIESÉITE, a pour formule :



$$3Ag^2S,\ 3FeS,\ 10FeS^2.$$

Il cristallise dans le système rhombique :

$$a : b : c = 0{,}5969 : 1 : 0{,}7352,$$

et la forme est très-voisine de celle de la sternbergite ($Ag^2S, 3FeS, FeS^2$), comme il résulte des mesures suivantes :

	Frieséite.	Sternbergite.
mm	61° 40′	60° 20′
mg^1	59° 10′	59° 45′
a^8p	71° 51′	76° 31′

La frieséite est facilement clivable suivant p ; les lamelles minces sont flexibles et gris verdâtre sombres à la lumière transmise sur une très-petite épaisseur.

— La COLORADOÏTE (*Genth*) (2) est un tellurure de mercure, HgTe, non cristallisé, qui a été découvert dans les mines de Keystone (Colorado), associé avec du tellure natif et du quartz, et dans la mine de Smuggler (Colorado), associé avec l'or natif, le tellure et la tellurite. Structure massive et granulaire ; couleur noire du fer, avec un très-léger reflet rouge ; éclat métallique. Décrépite, fond et dégage du mercure. Densité = 8.627. Dureté = 3 environ.

— La KRENNERITE (*vom Rath*) est un tellurure d'or découvert à Nagyag et décrit par MM. *vom Rath* (2) et *Krenner*. Il se trouve en petits cristaux prismatiques de 1/2 à 2 millimètres de grandeur, associés avec du quartz et un peu de pyrite grenue. La cristallisation est rhombique avec un clivage parfait parallèle à la base :

$$a : b : c = 0{,}9407 : 1 : 0{,}5044.$$

$$m/m = 93°\ 30′. \quad ma^1 = 107°\ 58′\ 1/2.$$

(1) *Zeit. für Kr.*, II, 2.
(2) *Zeit. für Kr.*, II, 1.
(3) *Monatsber. der K. Ak. der Wiss. zu Berlin*. Mai 1877.

La composition chimique n'a pu être fixée avec précision à cause de la faible quantité de matière dont on disposait.

— M. *Laspeyres* (1) a signalé, dans les filons de fer de Sayn-Altenkirch, l'association avec la millérite d'un autre sulfure de nickel Ni^4S^5 ? cristallisant en octaèdres réguliers, mâclés autour d'un axe d'hémitropie perpendiculaire à la face de l'octaèdre. Les cristaux sont aplatis parallèlement à a^1. Éclat demi-métallique. Couleur gris foncé ou jaune. L'auteur a donné à cette substance, qui paraît être une forme dimorphe de la millérite hexagonale, le nom de POLYDYMITE.

— Sous le nom de STUTZITE, M. *Schrauf* (2) a décrit un minéral rencontré dans un échantillon provenant vraisemblablement du Nagyag. Le système est monoclinique, mais tellement voisin du système hexagonal qu'on peut calculer les inclinaisons des faces en supposant la symétrie hexagonale avec les constantes $a:c = 1:1,2530$. La forme est très-voisine de celle de l'argentite Ag^2S, de la discrasite Ag^2Sb, de la chalcosine Cu^2S. Une analyse imparfaite a donné pour la composition chimique Ag^4Te.

Substances diverses.

M. *Lawrence Smith* (3) a démontré que les masses de FER d'Ovifak, que l'on avait considérées comme météoriques, sont un des éléments essentiels d'une roche éruptive basaltique qui a bouleversé toutes les couches sédimentaires. Le fer est si intimement uni au basalte, que les cristaux feldspathiques et autres de la roche pénètrent les particules de fer.

L'auteur regarde le fer comme un produit secondaire formé par l'action décomposante des couches de lignite et autres matières organiques que les immenses dykes basaltiques ont pénétrées, et par-dessus lesquelles le basalte s'est épanché. Cette opinion semblera erronée, si l'on met en parallèle la grandeur du phénomène éruptif et la faible influence réductrice que peuvent exercer, pendant un temps bien limité, les gaz provenant du contact du lignite et de la roche éruptive.

— Au nombre des substances minérales, on peut compter maintenant le protochlorure de fer dont la présence a été constatée

(1) *Journal für prakt. Chemie*, 1876, n° 19, et *N. Jahrb. für Min.* 1877, 3.
(2) *Zeit. für Kr.*, II, 3.
(3) *C. R.* Nov. 1878.

par M. *Daubrée* (1) et par M. *Laurence Smith*, dans le fer météorique d'Ovifak. M. Daubrée a donné à cette substance le nom de LAWRENCITE.

— M. *von Lasaulx* (2), signale un iodochlorobromure d'argent 2Ag(ClBr) + AgI, qui se trouve en beaux cristaux de 1 à 2 millimètres, montrant l'octaèdre régulier ou la combinaison de l'octaèdre et du cube. Il y a trace d'un clivage octaédique. Couleur jaune de soufre, rarement verte. Se coupe au couteau. Densité = 5,713. Il se trouve à Dernbach, près Montabaur, dans de petites cavités d'un quartz ferrifère qui forme la masse principale d'un filon de fer oxydé hydraté. Il est accompagné de beudantite, de carminite, et de petites pyramides hexagonales qui paraissent être de la greenockite. On n'a jamais signalé dans la mine aucun minerai d'argent. L'auteur propose pour le minéral le nom d'IODOBROMITE.

— On connaît depuis longtemps les calcaires cobaltifères de Schneeberg. On y trouve, associés à la rosilite (cobalt arséniaté), des sphéroïdes de couleur noire à l'extérieur, rosés à l'intérieur. La densité est 4,02, la composition est celle d'un carbonate de cobalt CO^2CoO, mélangé d'une petite quantité de carbonate de chaux et de sesquioxyde de fer hydraté. La surface de ces sphéroïdes paraît, au microscope, formée par de petits rhomboèdres tronqués par la face a^1. Cette observation de M. *Weissbach* (3) est intéressante, parce qu'elle ajoute un terme à la série des carbonates rhomboédriques et qu'elle accroît les analogies chimiques et cristallographiques du fer et du cobalt. L'auteur propose de donner à ce nouveau carbonate le nom de SPHÉROCOBALTITE.

— Dans une sorte d'andésite augitique métamorphisée par des vapeurs volcaniques, que l'on observe dans le comté d'Hunyad (Transylvanie), M. *Koch* (4) a découvert quelques nouveaux minéraux. L'un d'eux, la PSEUDOBROOKITE, est un fer titané

TiO^2	52,74
Fe^2O^3	42,29
CaO et MgO	4,28
Perte	0,70
	100,01

qui cristallise dans le système rhombique et est ainsi dimorphe de

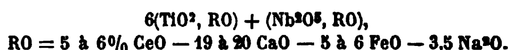
(1) *C. R.* Janvier 1877.
(2) *Zeit. für Kr.* I, 5.
(3) *Jahrb. f. d. B. und Hutt. im Kon. Sachs.* 1877 et *N. Jahrb. für Min.* 1877, 4.
(4) *Tsch. Min. Mitt.*, I, 4.

l'ilménite rhomboédrique. Les cristaux sont de petites tables très minces, aplatis parallèlement à h^1 et portant les faces m, g^1, a^1, très-rarement g^3, e^1. La principale combinaison est h^1, g^1, m, a^1, e^1.

$$a : b : c = 1 : 0,350 : 0,405 \quad mm = 126° 58'.$$

Les mesures faites sur des cristaux très-petits sont difficiles, et il existe entre le calcul et l'observation des différences qui vont jusqu'à 3° 37. Clivage assez net parallèle à g^1. Dureté = 6 environ, densité = 4,98. Brun foncé à noir de fer. Brunâtre à rouge rubis par transparence dans les lames très-minces. Poussière jaune d'ocre. Éclat métallique adamantin. Translucide en lames très minces. Les métaux ont quelque analogie avec ceux de la brookite; de là le nom donné à la substance.

— On trouve dans le calcaire grenu des environs de Vogsberg (Kaiserstuhl) de petits cristaux noirs, cubiques, d'une densité de 4,13 et qui ont été considérés comme des cristaux de perowskite. M. *A. Knop* (1) les a analysés avec soin et leur a trouvé une composition représentée assez exactement par la formule



$$6(TiO^2, RO) + (Nb^2O^5, RO),$$
$$RO = 5 \text{ à } 6\% \; CeO - 19 \text{ à } 20 \; CaO - 5 \text{ à } 6 \; FeO - 3,5 \; Na^2O.$$

Cette formule rapproche le minéral du pyrochlore. L'auteur l'appelle DYSANALYTE, pour rappeler la difficulté qu'il présente à l'analyse chimique.

— CLIVÉITE (2) (*Nordenskiöld*). Spinellide ressemblant à un pechurane auquel l'auteur attribue la formule



$$(UO \; PhO) \; (U^2O^3, Fe^2O^3, Y^2O^3, Er^2O^3, Ce^2O^3) + H^2O.$$

Cristaux du système régulier, d'apparence cubique, avec modifications a^1, b^1 ; noirs de fer, opaques. Dureté = 5,5, densité = 7,49. Infusible ; soluble dans l'acide chlorhydrique. Trouvé dans la carrière de feldspath de Gasta, près Arendal.

— M. *Moore* (3) a donné le nom de HÉTAIRITE à un minéral en rognons fibreux, associé à la chalcophanite, de couleur noire, et dont la composition est ZnO, Mn^2O^3. Densité = 4,933, dureté = 5. Éclat demi-métallique. Poussière brun noir. Le minéral a été trouvé à Sterling Hill (New-Jersey).

(1) *Zeit. für Min.* I, p. 284.
(2) *American Journ. of sc.* III, 14 et par extraits *Bulletin de la Soc. min.* I.
(3) *Americ. Journ. of sc.*, III. 14, et *Zeit. für Kr.*, II, 2.

NOTE

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR DANS UNE SUCRERIE A CARVIN (PAS-DE-CALAIS).

Extraits du rapport de M. l'ingénieur ordinaire Duporcq.

Le 7 novembre 1878, à 4 heures 45 minutes du soir, une explosion de chaudière à vapeur, qui a eu des conséquences déplorables, s'est produite dans la fabrique de sucre de M. Menu-Lequien, à Carvin. C'était pendant une période de repos : sept jeunes ouvrières et un ouvrier étaient venus se chauffer sur les générateurs ; les jeunes filles ont été tuées ; l'ouvrier, grièvement brûlé, est mort des suites de ses blessures. La chaudière, reculant de 4^{m},50 vers l'arrière, pendant que le fond plat de l'avant se détachait, a enfoncé les murs de la chambre de la machine, où se trouvait le contre-maître de la fabrique occupé à refaire un joint ; celui-ci a été tué sur le coup. Du côté de l'avant, les bâtiments de la ferme ont été détruits, et des constructions situées de l'autre côté de la voie publique ont été gravement endommagées.

La fabrique de sucre de M. Menu-Lequien renfermait trois générateurs ; les deux premiers se composaient d'un corps principal de très-grand diamètre, à fonds plats, renfermant cinq tubes, surmonté d'un dôme et muni de deux bouilleurs (voir Pl. VI, *fig.* 1 et 2). Le corps principal avait 8^{m},00 de longueur sur 2^{m},10 de diamètre, les tubes 8^{m},00 de longueur sur 0^{m},30 de diamètre, et les bouilleurs 8^{m},50 de longueur sur 0^{m},70 de diamètre ; la capacité intérieure était de 30 mètres cubes et la surface de chauffe de 116 mètres carrés. Ces chaudières avaient été construites

en 1855 et 1856 par M. Fontaine, à Lille; elles avaient servi dix ans dans une filature, à Marcq-en-Barœull; elles avaient été rééprouvées le 18 décembre 1866 dans les ateliers de M. Fontaine et timbrées à 4 kil. C'est l'une d'elles qui a fait explosion.

La troisième, timbrée également à 4 kil., se composait d'un corps cylindrique muni de deux bouilleurs et mesurait 15 mètres de capacité et 65 mètres carrés de surface de chauffe.

Ces trois chaudières avaient été déclarées en novembre 1869.

L'installation du service de l'alimentation était parfaitement convenable; la très-faible épaisseur des dépôts dans les générateurs et l'absence de corrosions intérieures ont montré que les eaux dont on se servait étaient de bonne qualité.

Les appareils de sûreté, soupapes, manomètres, indicateurs de niveau, étaient établis conformément aux prescriptions réglementaires.

Mais si l'installation était conforme au règlement, il n'en était pas de même de la marche habituelle des générateurs sous le rapport de la pression : d'après les dépositions des chauffeurs eux-mêmes, la pression était ordinairement de 4^k 1/2 et elle atteignait fréquemment 5^k 1/2 et 5^k 3/4; les soupapes de sûreté étaient surchargées de briques ou de barres de fer.

Le 7 novembre, pendant le repos d'une demi-heure qui commence à 4 heures 30 minutes, la pression augmenta; le chauffeur de service, le sieur Delfosse, voyant qu'elle était de 5^k 3/4 à 4 heures 45 minutes, alla trouver dans la fabrique l'ouvrier chargé de la conduite des appareils à triple effet et lui demanda s'il n'était pas prêt à mettre en marche sa chaudière d'évaporation et s'il n'aurait pas bientôt besoin de vapeur. Il quittait cet ouvrier et ne s'était encore éloigné de lui que de quelques pas, quand le

générateur n° 1 a fait explosion dans les conditions suivantes.

Le fond plat de l'avant s'est déchiré, ainsi que le montre la *fig.* 3, Pl. VI. Il a été arraché par le haut suivant la ligne des rivets qui le fixaient à la cornière, et la cassure a suivi une ligne à peu près tangente au bord interne des têtes de rivets; quelques-unes de ces têtes ont été légèrement brisées sur leur côté regardant le centre du fond plat. Par le bas, la déchirure a suivi le bord interne des cinq tubes intérieurs, et ce bord interne a été brisé lui-même suivant la ligne d'emboutissage. Le tirant central a été cassé net, contre le fond plat; les deux tirants supérieurs ont été arrachés de leurs oreilles. Le fond plat a été projeté sur la droite, dans la cave des chauffeurs.

L'examen attentif de la déchirure a fait voir que, sur la gauche, la cassure avait été subite et qu'il n'y avait pas de tôle ployée, tandis qu'à droite les tôles arrachées ont été ployées vers l'extérieur aux points A, B, C de la figure 3. Le fond plat s'est donc tout d'abord détaché des tubes intérieurs et de la cornière du pourtour sur la gauche; une première ouverture s'est faite de ce côté, puis immédiatement, par l'effet de la production excessive de vapeur résultant de cette ouverture, le reste du fond plat s'est déchiré sur le haut tout le long de la cornière, s'est ployé suivant la ligne ABC le long de laquelle il s'est rompu, et a été lancé violemment à droite dans la cave des chauffeurs. Cette circonstance concorde avec le dire des personnes qui étaient près de l'établissement au moment de l'explosion, et qui ont d'abord entendu un bruit semblable à celui d'un échappement considérable de vapeurs, puis un coup sec et violent.

Sauf le fond plat d'avant déchiré, le reste du générateur est resté parfaitement intact; les deux bouilleurs ont été trouvés en très-bon état; le corps de la chaudière et les cinq tubes intérieurs n'ont pas souffert. L'intérieur de la

chaudière ne renfermait presque pas de dépôts de tartre; ce générateur n'avait été, d'ailleurs, pour cette campagne, remis en feu que depuis six jours, et pendant l'été il avait été parfaitement nettoyé.

L'ensemble des faits montre immédiatement que l'explosion n'a pas été causée par un manque d'eau, suivi d'une alimentation intempestive; le fond plat d'avant a simplement cédé sous l'effort de la pression intérieure; il est évident qu'il ne faut pas attribuer l'accident à une autre cause, et il importe dès lors d'examiner avec détails dans quelles conditions était ce fond plat d'avant.

Le fond plat se composait de deux feuilles de tôle rivées entre elles comme le montre la *fig.* 1. Il n'était pas embouti sur son pourtour, mais relié au cylindre de 2^m,10 de diamètre, constituant la chaudière, par une cornière de 12 millimètres d'épaisseur sur laquelle il était rivé; les rivets de cette cornière avaient 22 millimètres de diamètre, et ils étaient espacés d'axe en axe de 59 millimètres. Dans l'arrachement, la cornière est restée intacte; la déchirure s'est faite le long du bord interne des têtes de rivets, dont quelques-unes ont été légèrement cassées, et elle n'a présenté nulle part de traces de cassure ancienne.

Le fond n'avait qu'une épaisseur de 13^{mm},5 pour la tôle inférieure dans laquelle venaient se fixer les cinq tubes intérieurs, et de 13^{mm},5 à 13^{mm},8 pour la tôle supérieure à laquelle étaient fixés les deux tirants supérieurs. Il a été retrouvé présentant un bombement très-accentué.

Les cinq tubes intérieurs avaient 30 centimètres de diamètre et 11^{mm},5 d'épaisseur; ils étaient reliés au fond plat d'avant, chacun par un tube conique de 50 centimètres de longueur, ayant d'un côté 0^m,30 de diamètre et de l'autre 0^m,40, et la même épaisseur de 11^{mm},5. Chaque tube conique était embouti à son extrémité de 0^m,40 de diamètre, et la partie emboutie était fixée au fond plat par

des rivets de 20 millimètres de diamètre, distants d'axe en axe de $0^m,060$. La partie emboutie était extérieure, comme le montrent les *fig.* 1 et 2, en sorte que le fond plat venait, dans l'intérieur de la chaudière, cacher le congé de l'emboutissage. Les cinq tubes ont été déchirés le long de la ligne de leurs congés, suivant la forme dessinée *fig.* 3, et il a été remarqué que les congés des deux tubes de gauche présentaient des cassures anciennes. Le premier tube de gauche présentait une ancienne cassure MN (*fig.* 3) de 22 centimètres de longueur, affectant les deux tiers de l'épaisseur de la tôle; le second tube, une ancienne cassure PQ de 15 centimètres de longueur, affectant la moitié de l'épaisseur de la tôte.

Trois tirants étaient destinés à consolider le fond plat.

Au centre, il y avait un tirant central formé par une barre de fer rond de $0^m,03$ d'épaisseur. Cette barre a été cassée en S (*fig.* 2 et 3), immédiatement contre l'écrou placé à l'intérieur du fond; la cassure en était nettement fraîche. Mesurée exactement, la longueur en a été trouvée égale à $8^m,24$, tandis que la longueur précise du générateur, prise entre les deux fonds, le long des génératrices de la chaudière, n'était que de $8^m,16$; il paraît donc que cette barre, sous l'influence des pressions intérieures ou de l'explosion, s'était allongée de $0^m,08$. Les attaches de cette barre aux deux fonds présentaient cette singularité, que les fonds étaient percés en leurs centres de trous de $0^m,40$ de diamètre, exactement semblables à ceux des tubes intérieurs, trous qui ont été bouchés par des plaques rivées. Quand cette chaudière a été construite en 1855 par M. Fontaine, il y avait six tubes intérieurs, ainsi que l'ont constaté les procès-verbaux d'épreuves; puis, quand la chaudière est revenue chez le constructeur en 1866 pour être vendue à M. Menu-Lequien, on y aura fait diverses réparations et remplacé le tube central par un tirant après avoir sans doute reconnu l'insuffisance des tirants tout

d'abord installés. Le procès-verbal de l'épreuve, faite 18 décembre 1866, ne mentionne plus en effet que ces tubes intérieurs, ce qui montre que l'installation du tirant central a été faite dix ans après la construction, mais avant la livraison des appareils à M. Menu-Lequien.

Deux autres tirants, formés par des barres de fer plat de 49 millimètres sur 24, étaient installés à la partie supérieure, comme le montrent les *fig.* 2 et 3. Chaque tirant était relié, d'une part au fond plat, d'autre part à une génératrice de la partie supérieure de la chaudière, par deux oreilles de $0^{m},20$ de longueur, formées de fer en cornière et rivées chacune, soit au fond plat, soit à la chaudière, par trois rivets de 20 millimètres de diamètre. Quant au tirant, il était fixé à chaque paires d'oreilles par deux clous de 20 millimètres de diamètre.

Comme ces deux tirants supérieurs supportaient seuls l'effort exercé sur toute la partie supérieure de la paroi plane, ils avaient à résister à une fatigue considérable, et leurs attaches portent les traces indéniables de leur insuffisance. Le tirant de gauche était rompu sur les deux tiers de sa section, en R (*fig.* 2 et 3); cette cassure était ancienne, car les parois en ont été trouvées remplies de tartre et de rouille vieille et noire. Les deux oreilles O^1 et O^2 (*fig.* 1), qui reliaient ce tirant au fond plat, étaient cassées avant l'explosion (*fig.* 4); il n'en restait plus que les moitiés adhérentes au fond; les parties cassées, *a*, *b*, *c*, *d*, pour l'oreille O^1, *e*, *f*, *g*, *h*, pour l'oreille O^2, étaient remplies de tartre, de rouille noire, et l'aspect de ces cassures montrait à l'évidence que ces deux oreilles étaient rompues depuis longtemps. Chacune d'elles, O^1 et O^2, était restée attachée au fond par les trois rivets, et ces rivets n'étaient nullement fracturés. Enfin le tirant de gauche montrait les deux trous, dans lesquels avaient dû passer les clous l'attachant aux oreilles O^1 et O^2, remplis de tartre, ne présentant aucune déchirure et n'étant pas ovalisés. Ces détails ap-

prennent que le tirant de gauche ne fonctionnait plus depuis longtemps. S'il avait encore fonctionné comme tirant au moment de l'explosion, la barre aurait achevé de se rompre au point R, où existait une vieille cassure affectant les deux tiers de la section : les six rivets fixant les oreilles O^1 et O^2 au fond plat auraient été plus ou moins cassés, et d'ailleurs les cassures *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h* (*fig.* 4) n'auraient pas offert l'aspect évident d'une très-ancienne rupture.

Le tirant de droite ne présentait pas de fracture. Les oreilles O^3 et O^4, qui l'attachaient au fond d'avant, offraient les détails suivants (*fig.* 5 à 8). L'oreille O^3 (*fig.* 5) était cassée suivant une ligne *klmn*, entre les trois rivets; la cassure était en partie vieille, en partie fraîche. Ce qui montre, d'ailleurs, qu'il y a eu résistance de cette oreille lors de l'explosion, c'est que les trois rivets étaient fraîchement rompus par leur bord interne. L'oreille O^4 a été cassée suivant une ligne *pqr*; la cassure était entièrement fraîche. Ces deux oreilles O^3 et O^4 étaient restées attachées au fond projeté.

Le tirant (*fig.* 6) était attaché aux deux oreilles O^3 et O^4 par deux clous de 20 millim. de diamètre et 12 centim. de longueur. Le clou T^1 était resté attaché au tirant comme l'indiquent les *fig.* 3 et 6; il était anciennement cassé sur les deux tiers de sa section, c'est-à-dire sur la partie bordée d'un trait noir dans la *fig.* 8, et il ne tenait plus que par le tiers inférieur de sa section, lequel tiers a présenté seul l'aspect d'une cassure fraîche. Quoique déjà fortement rompu avant l'accident, il remplissait toutefois encore assez bien le trou correspondant T^1 du tirant pour que ce trou n'ait pas été garni de tartre à l'intérieur. Ce même clou T^1 était en outre usé à sa partie inférieure *tt* sur plus de 1 millimètre d'épaisseur; le trou correspondant était ovalisé, et le poli de l'usure *tt*, joint à l'ovalisation du trou, indique assez quel jeu il y avait et combien peu servait ce clou. Quant au clou T^2, qui était resté attaché à l'oreille O^4,

il était cisaillé et poli sur toute la partie *ww* (*fig.* 7), c'est-à-dire sur les trois quarts au moins de sa section; il ne tenait presque plus, un quart de sa section à peine offrait une cassure fraîche; le trou correspondant du tirant était considérablement ovalisé et rempli de tartre. Le tirant de droite ne fonctionnait donc plus que très-peu; une oreille O' avait une cassure ancienne importante; les clous étaient usés ou cassés en très-grande partie et le fonctionnement de ce tirant de droite ne pouvait qu'être absolument illusoire dans ces conditions.

L'examen des attaches de ces deux tirants à la partie cylindrique, et de celles des tirants opposés, soit au fond plat, soit à la partie cylindrique, de même que l'examen des attaches des tirants semblables de l'autre générateur, a montré que partout la liaison entre les tirants et leurs oreilles était tout à fait insuffisante; les clous qui devaient réaliser cette liaison étaient fatigués à l'excès, en partie cassés, et plusieurs d'entre eux ont pu être enlevés facilement à la main; la diversité des types auxquels ils appartenaient a prouvé qu'ils avaient dû être remplacés souvent et que ce remplacement avait été effectué à l'aide de clous de modèles quelconques, tandis que la liaison eût dû être faite au moyen de rivets pour rendre les tirants complétement solidaires de leurs oreilles. En fait, les deux clous qui reliaient l'extrémité de chaque tirant aux parois de la chaudière supportaient seuls tout l'effort exercé contre la paroi plane et il n'est pas étonnant qu'ils se soient usés et cisaillés sous cet effort.

Enfin, la tôle même qui constituait le fond plat d'avant péchait par la qualité : quatre plaques ont été découpées dans cette tôle, dans les parties voisines de la déchirure survenue le long de la cornière du pourtour; des barres d'essai ont été taillées suivant la forme habituelle dans ces plaques, et elles ont donné aux expériences de traction les résultats consignés au tableau ci-dessous :

NUMÉRO de l'essai.	DIMENSIONS de la barre soumise à l'essai.			CHARGE par millimètre carré à laquelle		ALLONGE-MENT	ASPECT DE LA TÔLE à la cassure.
	Lar-geur.	Épais-seur.	Sec-tion.	l'allonge-ment a commencé.	la rupture s'est produite.		
	mm.	mm.	mm.	kilog.	kilog.	p. 100.	Dans les quatre essais l'allongement n'a eu lieu d'une manière sensible qu'en approchant de la limite de rupture.
1	13,53	22	299	22	28	3,5	
2	13,62	22	300	13	30	4,0	La cassure de la tôle présente de petites lamelles courtes et pas le moindre nerf.
3	13,55	22	298	31	31	3,5	
4	13,74	22	303	20	31	4,5	Tôle absolument aigre, cassante, sèche. Cassure brusque.

Il ressort de ces expériences que la tôle employée pour le fond plat d'avant avait une ténacité suffisante, puisque les charges nécessaires pour opérer le commencement d'allongement et la rupture ont été assez élevées. Mais elle manquait absolument de la ductilité indispensable aux tôles de chaudières à vapeur ; elle n'a pu supporter avant la rupture qu'un allongement de $3\frac{1}{2}$ à $4\frac{1}{2}$ p. 100, chiffre tout à fait inférieur aux valeurs considérées comme nécessaires. La tôle employée pour le fond plat qui s'est déchiré était essentiellement sèche et cassante, et ce défaut s'est révélé en outre dans les essais par une cassure brusque et par un allongement qui ne se produisait d'une manière sensible qu'en approchant de la limite de rupture.

En outre, une plaque a été posée sur deux appuis hauts de 8 millimètres et distants l'un de l'autre de $0^m,135$; un léger coup de marteau pilon a été donné au milieu pour opérer la flexion, de 8 millimètres de flèche seulement sur cette base de 135, et la tôle n'a pu supporter cette flexion sans se rompre.

En résumé, les causes de l'explosion résident, d'une part, dans les vices de construction qui ressortent des faits

relatés ci-dessus, d'autre part, dans l'insuffisance de l'entretien et dans la marche à pression surélevée.

I. *Vices de construction.* — 1° La tôle employée pour la construction du fond plat était de mauvaise qualité, et d'une épaisseur beaucoup trop faible, vu surtout l'insuffisance des armatures destinées à la consolider.

2° Ces armatures étaient complétement insuffisantes comme nombre et leur disposition était vicieuse.

Pour que la tôle d'une paroi plane ne tende pas à se gondoler et à se fatiguer, soit au congé de l'emboutissage si la tôle est emboutie, soit par cisaillement près des rivets de la couture circulaire, si la tôle est fixée sur une cornière comme dans le cas présent, il faut que les armatures soient capables de supporter toute la pression exercée sur le fond plat. La portion supérieure du fond plat, sous une tension de 4 kilog., supportait une charge d'environ 50.000 kilog. Sans doute, cette charge était supportée non seulement par les deux tirants supérieurs, mais encore par la couture circulaire et par les tubes supérieurs; mais si on avait voulu que cette couture ne travaillât pas par cisaillement, que les tubes ne fussent pas fatigués à leur congé, il eût été prudent de rendre les tirants capables de résister à toute la charge. Or, les deux tirants supérieurs, ayant une section de 49 millimètres sur 24, auraient eu à supporter une charge de 20 kilog. par millimètre carré, et les quatre clous qui reliaient ces tirants aux oreilles et qui avaient 20 millimètres de diamètre, auraient eu à supporter par cisaillement une charge de 40 kilog. par millimètre carré.

Les deux tirants supérieurs étaient donc insuffisants comme section, leur mode d'attache par deux clous était essentiellement vicieux, et il n'est pas étonnant que, dans les conditions des efforts auxquels ils avaient à résister, le tirant de gauche ait été cassé, et les clous d'attache cassés et cisaillés comme il a été dit précédemment.

Enfin, ces armatures de fond plat doivent être d'autant plus renforcées qu'on doit redouter des effets d'inégale dilatation : or, dans la chaudière de M. Menu-Lequien, les flammes, après avoir parcouru les deux bouilleurs inférieurs, revenaient par les cinq tubes intérieurs de la chaudière, puis léchaient la moitié du corps cylindrique avant d'aller à la cheminée ; la partie inférieure de la chaudière était donc, par ses cinq tubes intérieurs, par toute sa surface inférieure, soumise à l'action des flammes ; bien que l'eau et les vapeurs intérieures servissent de régulateur, il n'en est pas moins vrai que des dilatations inégales s'opéraient forcément entre le haut et le bas de la chaudière, et la longueur de cette chaudière, 8 mètres, arrivait à rendre assez sensibles les différences de dilatation.

En somme, le défaut des armatures a certainement eu, dans les causes de l'accident, un rôle prépondérant.

3° Les tubes intérieurs étaient emboutis, et le congé de l'emboutissage était masqué par la paroi plane, de telle sorte qu'on ne pouvait, dans les visites intérieures, examiner l'état de ces congés ; on ne pouvait donc découvrir les cassures anciennes MN, PQ, des deux tubes de gauche, qui, jointes à l'absence de fonctionnement du tirant de gauche et au fonctionnement presque nul du tirant de droite, affaiblissaient singulièrement la résistance du fond plat.

II. *Marche vicieuse et insuffisance d'entretien.* — 1° Les soupapes étaient constamment surchargées, la marche habituelle variant de 4^k 1/2 à 5^k 1/2, a nécessairement hâté l'usure et la détérioration des organes faibles, d'où est résulté le manque de résistance du fond plat.

2° Enfin l'état dans lequel ont été trouvés les tirants et leurs attaches prouve que le générateur a été mal entretenu, et la négligence apportée dans cet entretien a été une des causes graves de l'explosion, puisqu'elle a eu pour résultat de priver de ses deux armatures la partie supé-

rieure du fond plat que sa trop faible épaisseur rendait déjà insuffisamment résistant.

Avis de la Commission centrale des machines à vapeur.

La Commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 7 janvier 1879, a, sur la proposition de M. l'ingénieur en chef Luuyt, rapporteur, émis l'avis suivant :

« La Commission centrale est d'avis que l'explosion d'un générateur dans la sucrerie Menu-Lequien à Carvin est due à une construction vicieuse et mauvaise, ainsi qu'au mauvais fonctionnement de l'appareil. Les fautes de construction consistent : en l'emploi sur le fond antérieur d'une tôle trop mince et de mauvaise qualité pour une grande surface insuffisamment armée et surtout en l'insuffisance des armatures reliant le fond antérieur au fond opposé et à la surface cylindrique ; on n'y trouvait que des tirants de section insuffisante et encore plus insuffisamment reliés aux parois ; on aurait dû employer de larges goussets fixés par plusieurs rivets à des oreilles s'appuyant elles-mêmes sur les parois par des surfaces étendues. Par suite de cette même lacune de tirants, les extrémités embouties des tubes intérieurs se sont déchirées à l'angle, parce que les efforts de traction exercés sur ces tubes n'étaient pas suffisamment diminués par des armatures convenables et que, la disposition des tôles masquant d'un côté l'angle des congés, les fentes auraient échappé à une surveillance exercée. A l'autre extrémité des tubes, la disposition n'était pas la même et les fentes étaient visibles ; mais on n'y avait jamais regardé.

Le mauvais fonctionnement de l'appareil consiste en un entretien insuffisant, les tirants et les oreilles étaient rompus en partie depuis longtemps sans que l'on s'en fût aperçu ; les attaches primitives de ces tirants ayant été

détruites avaient été remplacées par des ferrures encore plus insuffisantes.

Enfin, une pression habituellement excessive a contribué à l'explosion.

La Commission estime que cette affaire comporte plusieurs enseignements utiles, et qu'il y a lieu de demander l'insertion d'un extrait du rapport de M. Duporc, dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des ponts et chaussées*.

NOTE

SUR

LES RAPPORTS EXISTANT ENTRE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES ACIERS

Par M. Victor DESHAYES, ingénieur des aciéries de Terre-Noire.

L'influence de la composition chimique des aciers sur eur résistance est une question tellement à l'ordre du jour depuis quelques années, que nous avons cherché à rassembler, sous une forme aussi rationnelle que possible, les résultats auxquels sont arrivées diverses usines ayant étudié ou fait étudier cette question, tant au point de vue de la science pure qu'au point de vue non moins intéressant de l'emploi de l'acier dans les constructions (chemins de fer, artillerie, marine, etc.). Quel que soit en effet le mode de production des aciers, qu'ils soient puddlés, cémentés, etc., ou obtenus par les procédés Bessemer, Martin, etc., tous ces aciers sont identiques, ou du moins peuvent être amenés à être semblables, non-seulement comme composition chimique, mais aussi comme structure physique. Les aciers coulés sans soufflures eux-mêmes (c'est un fait connu aujourd'hui), non martelés, peuvent être comparés, lorsqu'ils ont subi des recuits et trempes convenables, aux aciers forgés ou laminés de diverses provenances.

Les Expositions de Paris en 1867, de Vienne, de Philadelphie, nous ont déjà fourni des documents précieux, en ce qui concerne la classification des aciers, au point de vue de leur teneur en carbone, documents que nous résumerons ici en quelques mots pour montrer dans quel sens s'est effectué le progrès.

En 1867, les aciers Suédois étaient désignés sous les nos 1 — 1 1/2 — 2 — 2 1/2 — 3 — 3 1/2 — 4 — 4 1/2 — 5; correspondant, d'après les analyses de l'usine à Siljaufers, à des teneurs en carbone dosées par la méthode Eggertz, de 2 p. 100 — 1,75 — 1,50 — 1,25 — 1.00 — 0,75 — 0,50 — 0,25 — 0,05; classement essentiellement théorique dont les quatre premiers numéros sont absolument sans usage.

En Autriche, M. le professeur Tunner, de Léoben, avait donné la classification en 7 numéros de dureté de 1 à 7, encore en usage aujourd'hui, sauf de très-légères modifications, dont on peut se rendre compte par le tableau ci-joint, où l'on trouvera également les teneurs en carbone des aciers de Reschitza et d'Anina, dont il est question dans ce travail.

Nous ferons remarquer dès à présent que les teneurs en carbone fournies par les analyses de M. Tunner, sont notablement plus fortes que les chiffres théoriques, ce qui nous expliquera plus tard certaines anomalies de résistance à la rupture.

A l'Exposition de Vienne, figurait la classification du Creusot en 11 numéros de dureté, mais où il n'était donné malheureusement aucune composition chimique correspondante; les allongements sont mesurés sur 100 millimèt.

			kilog.			p. 100.
N° 1	correspond à une charge	à la rupture de	90 à 85	par millim. carré	et à un allongement de	8,00 à 10,00
2	.... id.	.... id.	.... 85 à 80	.... id.	.... id.	.... 10,50 à 12,50
3	.... id.	.... id.	.... 80 à 75	.... id.	.... id.	.... 13,00 à 15,00
4	.... id.	.... id.	.... 75 à 70	.... id.	.... id.	.... 15,50 à 17,50
5	.... id.	.... id.	.... 70 à 65	.... id.	.... id.	.... 18,00 à 20,00
6	.... id.	.... id.	.... 65 à 60	.... id.	.... id.	.... 20,50 à 22,50
7	.... id.	.... id.	.... 60 à 55	.... id.	.... id.	.... 23,00 à 25 00
8	.... id.	.... id.	.... 55 à 50	.... id.	.... id.	.... 25,50 à 27,50
9	.... id.	.... id.	.... 50 à 45	.... id.	.... id.	.... 28,00 à 30,00
10	.... id.	.... id.	.... 45 à 40	.... id.	.... id.	.... 30.50 à 32,50
11	.... id.	.... id.	.... 40 à 35	.... id.	.... id.	.... 33,00 à 35,00

Ce classement absolument théorique, en ce qui concerne la résistance et l'allongement, correspond à des aciers dont la teneur en carbone varie de 0,900 à 0,050 p. 100: Ce

dernier chiffre nous paraît être un grand minimum et nous ne pensons pas qu'on puisse obtenir des aciers à moins de 0,100 de carbone. D'autre part, ces aciers ne contiennent que très-peu de manganèse et constituent les aciers types théoriques que l'on obtient au creuset.

A Terre-Noire et à Bességes, depuis longtemps les aciers sont classés d'après des épreuves de pliage à froid en numéros variant de 0 à 5. Le n° 0 est un acier doux ne prenant pas la trempe ; le n° 5 correspond à l'acier dur pour outils à forte teneur en carbone. Les numéros les plus courants sont : 0 — 0 1/2 — 2 1/2 — 3 1/2 — 4. Ce classement a pour base les teneurs en carbone, mais on obtient des numéros équivalents aux précédents, en diminuant la teneur en carbone et en augmentant la teneur en manganèse des aciers. Citons pour mémoire les expériences de Mrazek, Kirkaldy, Fairbairn, etc. Nous trouvons enfin dans l'intéressant mémoire de M. Valton, sur l'Exposition de Philadelphie, les chiffres suivants rapportés à 100.

1° ACIER DE FAGERSTA.	Mn.	C.	Si.	S.	Ph.
a. Tôles, essieux.	»	0,085	0,008	»	0,025
b. Canons de fusil.	0,234	0,250	0.036	»	0,022
c. Outils tendres, scies.	0,256	0,700	0,032	»	0,023
d. Outils durs.	0,355	1,050	0,067	»	0,0[illegible]

La qualité *a* donne 36^{k},70 de résistance à la rupture et 36,28 p. 100 d'allongement.

2° ACIERS DE HUTTENBERG (Klagenfurt).		CHARGE de rupture en kilogrammes par millimètre carré.	ALLONGEMENT p. 100.
	p. 100.	kilog.	p. 100.
N° 1. } Sans emploi.	C = 1,38 à 1,58	»	»
2. } Sans emploi.	1,12 à 1,38	»	»
3. Outils, ressorts.	0,88 à 1,12	88 à 104	5
4. Outils, bandages.	0,62 à 0,88	72 à 88	10 à 5
5. Bandages, tiges, roues.	0,38 à 0,62	56 à 72	20 à 10
6. Tôles chaudières.	0,15 à 0,38	48 à 56	25 à 20
7. Essieux, tôles douces.	0,05 à 0,15	40 à 48	38 à 25

A l'Exposition de 1878, de nouvelles expériences sont venues compléter les précédentes, elles ont été exécutées par les usines ou sociétés savantes ou à leurs frais :

1° *Usines de Reschitza* (Hongrie). — Essais exécutés sous la direction de M. le professeur Bauschinger de Munich. Compression, traction, flexion, cisaillement et torsion, avec courbes et épreuves photographiques.

2° *Jernkontoret* (comptoir des forges de Suède). — Essais à la traction, au choc, au cintrage et au pliage de tôles, faits sous la direction de M. Dellwick.

3° *Compagnie de Terre-Noire.* — Essais exécutés à Terre-Noire pour la traction, la flexion et le choc, à Nevers pour la compression.

La comparaison des résultats obtenus, nous a paru assez intéressante à faire et nous a conduit à les exposer simultanément; principalement ce qui concerne les essais de résistance à la traction, pour lesquels nous avons trouvé des concordances bien dignes de remarque, lorsque l'on pense que les expériences ont été faites par des opérateurs différents, dans des laboratoires éloignés, à l'aide de méthodes et de machines d'essai essentiellement différentes.

Ce qui en outre a rendu la comparaison plus facile, c'est que nous avons pu, dans les résultats généraux, négliger l'influence du corroyage des aciers sur leur résistance, influence dont nous parlerons plus loin. Les barres d'acier rondes ou carrées fournies par Reschitza ont en effet subi à peu près le même corroyage que nos barres d'essai de Terre-Noire; la dimension des échantillons est seule différente. En ce qui concerne les tôles, soit de Reschitza, soit de Suède, elles étaient également de dimensions analogues à nos tôles de Terre-Noire. D'autre part, il nous paraît probable qu'une partie des essais de Reschitza a été faite pour le métal recuit; dans la plupart des cas, on a découpé les barres dans des ronds ou des carrés laminés, ou d'autres

fois dans des essieux très-probablement recuits, ou dans des rails à coup sûr non recuits, etc.

Le Jernkontoret, au contraire, a eu soin de signaler les essais non recuits, recuits et trempés; nous en avons fait de même à Terre-Noire.

Ces remarques étant posées, nous allons examiner successivement ce qui est relatif aux :

a.	Analyses des aciers soumis aux essais mécaniques.	
b.	Essais de résistance	à la traction
c.	Id.	à la compression.
d.	Id.	au cisaillement.
e.	Id.	à la flexion, cintrage, pliage, etc.
f.	Id.	à la torsion.
g.	Id.	au choc.

a. Analyses des aciers soumis aux essais mécaniques.

Les analyses qui nous ont servi de point de départ pour déterminer l'influence des corps étrangers sur la résistance des aciers sont le résultat :

1° De moyennes de dosage faits dans les usines de *Heft*, Neuberg, etc., et au laboratoire d'Oravicza, en ce qui concerne les aciers autrichiens ;

2° D'analyses spéciales fournies par le Jernkontoret pour les tôles suédoises;

3° D'analyses faites depuis plusieurs années soit au Creusot, soit plus spécialement au laboratoire de Terre-Noire sur des aciers de provenances diverses.

Pour les aciers exposés par la compagnie J. R. P. des chemins de fer autrichiens, nous ne pouvons malheureusement que donner des moyennes : les échantillons soumis aux analyses n'étant pas ceux qui ont été soumis aux épreuves, et quelle que soit d'ailleurs l'exactitude des analyses fournies par les divers laboratoires, il est évident que parmi, par exemple, les aciers n° 6 Bessemer, Martin, etc., il y a des variations de teneur en carbone (pour ne parler

que de cet élément), depuis le n° 6 dur voisin du n° 5, jusqu'au n° 6 doux voisin du n° 7. Ces restrictions étant posées, il y a lieu de signaler d'autre part les erreurs provenant de l'emploi de la méthode Eggertz; aussi devrons-nous principalement considérer comme plus exactes les analyses de M. le professeur Tunner et les analyses faites au laboratoire d'Oravicza, par la méthode Ullgren pour le dosage du carbone.

Les analyses de tôles suédoises, ayant été faites sur les tôles soumises elles-mêmes aux épreuves, méritent une attention spéciale, et nous ont été principalement fort utiles pour tout ce qui concerne les aciers doux à moins de 0,300 de carbone p. 100; elles sont au moins absolument comparatives entre elles, et quoique des teneurs en carbone de 0,050 p. 100 nous paraissent essentiellement trop faibles, nous sommes porté à croire que les conclusions que l'on pourra déduire des tableaux fournis par le Jernkontoret seront dignes de remarque à titre de comparaison.

Au laboratoire du Creusot, en ce qui concerne le dosage du carbone, on emploie simultanément la méthode Eggertz et la méthode de M. Boussingault.

A Terre-Noire, les analyses sont faites par la méthode Eggertz pour tous les dosages courants, destinés à suivre la fabrication et à la contrôler; elles sont ensuite vérifiées par la méthode du bichlorure pour les coulées spéciales et en particulier pour tous les aciers ayant figuré à l'Exposition de 1878. Le manganèse est dosé couramment par la méthode colorimétrique de l'acide plombique (*), contrôlé par le dosage à l'aide de l'acétate de soude et du brôme. Le silicium est dosé par oxydation et chloruration (méthode de M. Boussingault); on pèse la silice et on vérifie à l'aide de l'acide fluorhydrique, si elle ne contient pas de silicate. Le soufre est dosé à l'état de sulfure de plomb.

(*) Voir le *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1878.

Le phosphore à l'état de phosphomolybdate. Toutes ces méthodes sont connues et nous n'y insisterons pas davantage.

En ce qui concerne spécialement les coulées faites en vue de l'Exposition de 1867, les dosages ont été faits sur des éprouvettes prises au moment même de la coulée (l'une au commencement et l'autre à la fin), puis sur les barres qui ont été elles-mêmes soumises aux essais de traction. On fait toujours au moins sur chaque échantillon deux ou trois analyses, jusqu'à ce que l'on arrive à des concordances complètes : nous insistons principalement sur ce point que les tableaux d'analyses des aciers de Terre-Noire résultent de dosages faits sur les barres essayées elles-mêmes, car on peut avoir des variations entre divers lingots d'une même coulée, fait bien connu de tous les industriels; il y a en outre réchauffage des lingots, départ de manganèse, toutes les fois que celui-ci entre dans une proportion notable et une partie du carbone, qui dans les lingots bruts est à l'état de carbone graphiteux, passe au laminage à l'état de carbone combiné : les mêmes phénomènes se passent dans le recuisage et la trempe des aciers sans soufflures.

Outre ces dosages récents, nous avons eu recours à des analyses datant de quelques années sur des tôles douces, canons de fusil, rails, essieux, etc., et aussi aux résultats ournis par M. Tournaire, dans son excellent mémoire sur la fabrication des canons de campagne dans le bassin de la Loire en 1870-71.

b. Épreuves de résistance à la traction.

Les barres d'essai soumises aux épreuves de résistance à la traction proviennent de lingots de dimensions variables martelés et laminés en barres de diamètre variable, ou en tôles d'épaisseur de 9 à 12 millimètres suivant les usines. Toutefois l'influence du corroyage ne s'étant pas fait sentir ou très-peu, nous n'en tiendrons pas compte, quitte à y

enir plus loin. Les lingots employés avaient 400/400 limètres de section pour les essais de Reschitza; 297/297 145/185 pour les essais de tôles suédoises ; enfin 240/247 ur les divers essais de Terre-Noire. Ces lingots martelés laminés ont fourni des barrettes d'essai de trois catéries :

1° Barres rondes ;
2° Barres carrées ou rectangulaires ;
3° Barres rondes et plates de grande longueur.

Les barres rondes soumises à la traction ont eu les dimensions suivantes :

IAMÈTRE.	SECTION initiale.	DISTANCE entre les repères.	PROVENANCE.
millim.	millim. q.		
13,8	150	100	Barres laminées de Terre-Noire.
19,5	300	200	Id. id.
25,0	490	250	Barres laminées de Reschitza et barres découpées dans des rails, essieux, bandages.

Les barres rectangulaires avaient les dimensions suivantes :

LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	SECTION initiale.	DISTANCE entre les repères.	PROVENANCE.
millim.	millim.	millim. q.		
30 ×	10	300	200	Tôles laminées de Terre-Noire.
70 ×	9	630	200	Tôles laminées ou martelées et laminées de Suède.
60 ×	12	720	250	Barres laminées et tôles de Reschitza.

Enfin les grandes barres destinées à apprécier l'homogénéité des aciers de Reschitza avaient 12 millim. × 80 = 960 millimètres carrés, et une longueur de $4^{m},500$ entre les repères.

Pour toutes ces barres, on a déterminé la charge correspondant à la limite d'élasticité par millimètre carré, L;

la charge de rupture par millimètre carré, R ; la contrac-tion p. 100 $C = \frac{S - S'}{S}$; l'allongement p. 100, qui a été évalué entre des repères à 100 millimètres de distance, 200 millimètres, 250 millimètres.

Le grand nombre d'essais faits depuis plusieurs années à Terre-Noire, nous ont permis d'établir le rapport existant entre ces divers allongements : a sur 200 millim. — a' sur 100 millim. — a_1 sur 250 millimètres.

La limite d'élasticité a été déterminée pour les aciers de Reschitza et pour les tôles suédoises, en prenant pour cette limite, le moment où les allongements cessent d'être proportionnels aux charges. A Terre-Noire, elle a été déterminée en soumettant les barres d'essai à des charges variant de 2 à 3 kilog. par millimètre carré et ramenant à 0, pour apprécier le moment où l'allongement devient permanent, et ce moment a été pris pour la limite d'élasticité.

L'imperfection des moyens de mesure dont nous disposions à Terre-Noire, ne nous permet pas d'affirmer l'exactitude des chiffres ainsi déterminés ; toutefois, en procédant de cette manière et grâce à la grande habitude qu'en ont les opérateurs, on arrive à des résultats très-comparables avec ceux que l'on obtient par la considération de la proportionnalité des charges aux allongements. Du reste, des essais de comparaison ont été faits plusieurs fois entre les machines de Bourges, Nevers, Terre-Noire, et ont donné des résultats moyens parfaitement comparables.

La détermination de la charge de rupture et de la contraction, ne présente rien de particulier ; nous donnons seulement la contraction p. 100 $= C = \frac{S - S'}{S}$ de laquelle on peut toujours déduire la striction $\frac{S'}{S}$, et la charge de rupture R' rapportée à la section finale S'.

Quant aux allongements, ils sont donnés par les relations

suivantes, si on suppose connu l'allongement p. 100, a, mesuré sur 200 millimètres, cette distance entre les repères est du reste la plus répandue.

			millimètres.	
a	= allongement p. 100	mesuré sur	200.	
a'	= Id.	id.	100	$= a\left(1 + \frac{1}{100}\right)$,
a_1	= Id.	id.	250	$= \frac{9}{10}\,a$.

En relevant avant la limite d'élasticité, les allongements sous charges, on a ensuite calculé pour les essais de Reschitza le module d'élasticité moyen à la limite d'élasticité en kilog. par centimètre carré ; comme les allongements sont proportionnels aux charges au-dessous de la limite d'élasticité, on peut déterminer ce module en partant de l'un quelconque des rapports entre la charge et l'allongement correspondant pris au-dessous de cette limite ; mais pour les essais de Reschitza, on a toujours pris pour calculer ce module, le rapport de la charge correspondant à la *limite* d'élasticité à l'allongement élastique maximum correspondant à cette charge, à seule fin de diminuer l'erreur pouvant provenir de la lecture des allongements. Pour les essais de tôles suédoises, on a opéré exactement de même, mais les tableaux fournis par le Jernkontoret ne donnant pas le module d'élasticité; on y a inscrit seulement la charge correspondant à la limite d'élasticité, et l'allongement élastique maximum p. 100, qu'à tort dans ces tableaux, on a nommé tension élastique maxima p. 100. En divisant l'un par l'autre nous avons obtenu le module d'élasticité moyen à la limite d'élasticité, qui nous a permis la comparaison avec les essais de Reschitza.

Les métaux soumis aux épreuves ont été essayés, soit dans leur état naturel, soit recuits, soit trempés à l'huile ou à l'eau ; l'influence de la température à laquelle est terminé le laminage des barres ou des tôles étant considé-

rable, il convient d'étudier tout d'abord les résultats obtenus avec le métal recuit. Nous verrons ensuite qu'elle est l'influence du non recuisage et des trempes à l'huile et à l'eau.

Les tableaux annexés à ce travail représentent les moyennes générales d'un très-grand nombre d'essais à la traction faits sur du métal recuit pour tout ce qui concerne les essais de Terre-Noire et de Suède; pour les résultats fournis par Reschitza, il y a un mélange regrettable des essais recuits et non recuits; ainsi, par exemple, les barres rondes et rectangulaires n'ont pas été recuites, et les barres rondes provenant d'essieux ou de bandages sans doute recuits ont subi, d'autre part, l'influence pernicieuse de l'écrouissage au tournage même des barrettes, etc.

Nous les avons considérées, dès lors, les unes et les autres comme n'ayant point subi de recuisage, et pensons que nos moyennes générales ne peuvent pas être sensiblement altérées, ainsi que nous le verrons plus loin; toutefois les essais faits sur les tôles suédoises et ceux faits depuis plusieurs années à Terre-Noire, nous ayant montré la *nécessité* d'opérer toujours sur du métal recuit pour *avoir des* résultats comparables, nous devrons, dans nos conclusions générales, tenir compte de la faible erreur que nous faisons et diminuer par exemple les chiffres relatifs à la charge de rupture, etc.

En étudiant les tableaux d'essais ci-joints, on voit de suite qu'en ce qui concerne les tôles douces de Suède, la résistance à la rupture augmente avec la teneur en carbone; la même augmentation se retrouve dans les aciers de Huttenberg et de Reschitza, de même que dans les aciers carburés de Terre-Noire.

Influence du carbone. — Dans quelle proportion le carbone influe-t-il sur cette résistance? Voilà la question que nous devons nous poser et que nous allons chercher à résoudre. Depuis une dizaine d'années déjà M. le professeur

Tunner a indiqué cette influence du carbone, M. le professeur Smidt l'a formulée en prenant pour base le numéro de dureté de l'acier considéré; il avait ainsi posé les relations (*) :

$$R_e = 1.600 - 150n..., \qquad \varepsilon = 6n - 14,$$

dans laquelle Rc est la résistance en centners viennois (56 kil.) par pouce carré ($2^c,7$), ε l'allongement p. 100 à la rupture, n le numéro de dureté de l'acier.

La première, transformée en mesures métriques, donne :

$$R = 123 - 11,54n.$$

R représentant la charge de rupture par millimètre carré.

Ces formules ne sont applicables qu'entre les n[os] 3 et 7 du classement de Neuberg, et déjà, pour ces deux numéros, l'erreur est assez forte.

D'autre part, le numéro de dureté étant chose un peu élastique, puisqu'il existe, par exemple, le 6 doux, le 6 ordinaire, le 6 dur, la formule ci-dessus ne peut être qu'approximative : c'est pourquoi nous avons cherché à faire entrer dans les formules les chiffres fournis par les dosages de carbone des échantillons soumis aux épreuves de traction eux-mêmes.

A cet effet, nous avons considéré spécialement nos aciers carburés et nos aciers coulés sans soufflures, qui forment eux-mêmes une série carburée, et nous avons cherché graphiquement l'influence du carbone sur les valeurs de L, R, par millimètre carré, C, a, a', p. 100, en portant en abscisses les teneurs en carbone et en ordonnées les valeurs de la résistance à la rupture, par exemple. Les courbes que nous avons ainsi obtenues nous ont permis de dresser les tableaux suivants, en négligeant tout d'abord l'influence pouvant être exercée par les autres corps étrangers, et en particulier le manganèse, qui reste constant pour chacune de

(*) Voir mémoire de M. Clérault, *Annales des mines*, 1869.

ces deux séries d'aciers séparément (Pl. VI, *fig.* 9). Nous avons déterminé l'équation de chacune de ces courbes, équations qui nous ont servi de premier point de départ pour l'établissement des formules données ci-après :

Aciers carburés laminés de Terre-Noire. Métal recuit.

TENEUR en carbone p. 100.	L.	R.	C.	*a*.	*a'*.	OBSERVATIONS.
0,100	18,50	34,00	71,00	32,90	39,40	La teneur en manganèse de ces aciers reste *constante*; elle est voisine de 0,200 p. 100. L'influence du Si, S, Ph est absolument négligeable.
0,200	20,00	37,00	62,50	29,80	35,80	
0,300	22,00	48,50	54,50	26,70	32,20	
0,400	24,00	44,50	47,00	23,60	28,60	
0,500	25,50	49,00	39,00	20,50	25,00	
0,600	27,50	54,00	32,00	17,40	21,40	
0,700	30,00	59,00	25,00	14,30	17,80	
0,800	32,50	65,50	19,00	11,20	14,20	
0,900	36,00	74,00	14.00	8,10	10,60	
1,000	39,50	86,00	9.00	5,00	7,00	

Aciers carburés coulés sans soufflures de Terre-Noire. Métal trempé à l'huile et recuit.

TENEUR en carbone p. 100.	L.	R.	C.	*a*.	*a'*.	OBSERVATIONS.
0,100	»	»	»	»	»	La teneur en manganèse de ces aciers varie de 0,670 à [illegible]; elle a une influence marquée sur les charges. L'influence des autres corps Si, S, Ph a été momentanément négligée.
0,200	30,00	47,50	36,50	23,00	26,50	
0,300	30,50	50,50	31,00	20,50	23,50	
0,400	31,50	54,00	26,50	18,00	21,00	
0,500	32,50	58,00	22,50	15,50	18,50	
0,600	34,00	62,50	18,50	13,00	16,00	
0,700	36,00	68,00	15,00	10,00	13,00	
0,800	39,00	75,50	12,00	7,50	10,50	
0,900	42,50	85,50	9,00	5,00	8,00	
1,000	»	»	»	»	»	

Ces tableaux ont été dressés à l'aide des courbes construites, en partant des résultats fournis par la compagnie de Terre-Noire pour l'Exposition de 1878 : ils sont donc le résumé d'expériences spéciales faites à Terre-Noire en 1878.

On voit que les allongements diminuent lorsque les teneurs en carbone augmentent, tandis que les charges croissent avec les teneurs en carbone.

Nous avons fait alors la comparaison des résultats fournis

par les expériences faites à Terre-Noire avec ceux fournis par Reschitza et par le Jernkontoret, en nous reportant aux analyses fournies par les tableaux ci-annexés : c'est alors que nous avons trouvé des concordances remarquables entre les aciers doux de Suède et les aciers doux de Terre-Noire, les quelques différences que nous avons observées résultant seulement des teneurs variables en manganèse et sans doute aussi de l'extrême pureté des aciers suédois.

Pour les essais de Reschitza, nous avons toujours trouvé, par nos formules, une charge plus faible que celle accusée par les tableaux, ce qui s'explique très-naturellement pour nous, qui possédons un grand nombre d'essais recuits et non recuits sur les mêmes barres ou tôles d'acier fabriquées à Terre-Noire.

Il résulte, en effet, d'après nos propres observations, qu'un bon recuit peut diminuer la charge de rupture de 3 à 5 kilog. par millimètre carré, en augmentant l'allongement; il arrive même, ainsi que le montrent certains essais sur lesquels nous reviendrons, que, dans le cas d'un métal écroui par le laminage, la charge peut descendre de plus de 10 kilog. par un recuit bien fait. L'influence du recuisage est beaucoup plus sensible sur les aciers doux que sur les aciers durs, ainsi que le montrent en particulier les essais de tôles suédoises.

En groupant et résumant tous ces faits, nous avons été conduit à modifier légèrement les équations des courbes représentant nos essais de Terre-Noire, et nous proposons finalement celles-ci, comme représentant parfaitement, pour les aciers que nous avons étudiés, l'influence de la teneur en carbone sur la charge de rupture à la traction et sur les allongements p. 100 à la rupture, mesurés sur 100 et sur 200 millimètres :

$$R = 30 + 18c + 36c^2,$$
$$a = 35 - 30c,$$
$$a' = 42 - 56c$$ (c étant la teneur en carbone).

formules applicables depuis le fer doux fondu homogène jusqu'à des teneurs voisines de 0,900 de carbone à 1 p. 100, mais pas au-dessus.

Lorsqu'on étudie les aciers à plus de 1 p. 100, on observe que la charge de rupture croît très-vite jusque vers 100 kilog., avec des allongements descendant à 1 p. 100. Vers 1,25 p. 100 de carbone, il semble que la courbe devient asymptote à une verticale, point qui correspond à une décroissance dans les charges. A 1,50 p. 100 de carbone, on arrive aux métaux mixtes entre l'acier et la fonte, et la charge de rupture continue à décroître jusqu'à ce qu'on arrive à la fonte noire.

Nous étant limité, dans ce travail, à l'étude des aciers, nous ne signalerons ce fait que pour mémoire, quoiqu'il présente un grand intérêt.

Les tableaux et les courbes ci-annexés montrent que la limite d'élasticité est très-voisine de la moitié de la charge de rupture; nous ferons toutefois observer que ce n'est pas là une loi générale, et nous y reviendrons à propos des essais non recuits et des essais trempés.

La contraction diminue plus rapidement que l'allongement lorsque la teneur en carbone augmente.

Il nous reste à parler maintenant des modules moyens d'élasticité à la limite d'élasticité et des allongements élastiques maxima, travail qui nous a été rendu très-facile, grâce aux excellentes mesures des allongements sous charges qui sont relatés dans les essais du Jernkontoret, et principalement dans le catalogue des essais de résistance des aciers de Reschitza; ce dernier travail est surtout fort remarquable et mérite une mention tout à fait spéciale. Il démontre, en effet, l'exactitude d'un fait signalé déjà depuis plusieurs années: celle de la constante du module d'élasticité pour tous les aciers; les exceptions qu'on trouve peuvent, dans chaque cas particulier, s'expliquer très-facilement.

Que doit-on entendre par *limite d'élasticité*, *modules*

d'élasticité, allongement élastique maximum? Lorsqu'on soumet une barre d'acier à un effort, soit longitudinal, soit transversal, cette barre peut supporter une certaine charge sans se déformer d'une façon permanente ou, pour mieux dire, d'une façon permanente appréciable, car il est démontré aujourd'hui, grâce aux excellents moyens de mesure dont on dispose depuis quelques années, que les allongements permanents commencent à se faire sentir dès les plus faibles charges; mais il arrive un moment où ces déformations permanentes, d'abord très-petites et à peine mesurables, deviennent brusquement considérables. Au même moment, les allongements, qui étaient, pendant la première période de l'expérience, proportionnels aux charges, croissent plus vite que les charges, pour redevenir ensuite plus voisins de la proportionnalité, jusqu'au moment où la barre continue à s'allonger sans qu'il soit besoin d'augmenter la charge, et l'on arrive à la rupture: cette dernière période est celle pendant laquelle a lieu la contraction de la section au point même où va s'opérer la rupture. La première période a pour limite supérieure la limite d'élasticité, et à cette limite correspond une déformation qui est ce qu'on doit appeler l'*allongement élastique maximum;* le quotient de l'une par l'autre donne le module d'élasticité moyen à la limite d'élasticité. Pratiquement, c'est la valeur de l'allongement élastique maximum qui nous paraît mieux définir la dureté d'un acier.

Les déformations permanentes commençant dès les plus faibles charges, il en résulte que, si une barre est soumise à des charges successives qu'on ramène à zéro, cette barre prend, dans la machine même, une nouvelle limite plus grande que sa limite vraie : c'est pourquoi, dans les essais de tôles suédoises, on a déterminé la limite d'élasticité sans ramener chaque fois à zéro, et, ainsi que dans les essais de Reschitza, on a pris pour cette limite le moment où les allongements cessent d'être proportionnels.

En examinant les tableaux fournis par le Jernkontoret, Terre-Noire et Reschitza, on y trouve la confirmation des faits suivants : 1° les aciers les plus carburés peuvent supporter une plus forte charge que les aciers doux moins carburés, sans déformation permanente appréciable; 2° tous les aciers prennent, sous une charge donnée, un allongement constant toutes les fois qu'on n'aura pas dépassé la limite d'élasticité de l'acier considéré; la proportionnalité des charges aux allongements se continue plus loin pour les aciers durs que pour les aciers doux : voilà le fait important; 3° la limite d'élasticité ne correspond pas à un même allongement pour tous les aciers; mais, au contraire, certains aciers, les durs, peuvent, sans déformation permanente, prendre un allongement plus considérable que les aciers doux : ils sont plus élastiques. En un mot, le module d'élasticité est constant pour tous les aciers; l'allongement élastique maximum varie seul.

Valeurs de l'allongement élastique maximum, correspondant à une limite d'élasticité déterminée, avec les teneurs en carbone des aciers soumis aux épreuves, sans tenir compte de l'influence du Mn, Si, S, Ph. négligeables.

TENEUR en carbone.	LIMITE d'élasticité en kilogrammes par millimètre carré.	ALLONGEMENT élastique maximum. p. 100.	TENEUR en carbone.	LIMITE d'élasticité en kilogrammes par millimètre carré.	ALLONGEMENT élastique maximum p. 100.
environ	kilog.		environ	kilog.	
	15	0,0666	0,900	36	0,1601
	16	0,0711		37	0,1645
	17	0,0755		38	0,1690
0,100	18	0,0800		39	0,1734
	19	0,0844	1.000	40	0,1779
0,200	20	0,0889		41	0,1823
	21	0,0933		42	0,1868
0,300	22	0,0978		43	0,1912
	22,50	0,1000		44	0,1957
	23	0,1022		45	0,2001
0,400	24	0,1066		46	0,2046
0,500	25	0,1111		47	0,2090
	26	0,1156		48	0,2135
0,600	27	0,1220		49	0,2179
	28	0,1245		50	0,2225
	29	0.1289			
0,700	30	0,1334			
	31	0,1378			
0,800	32	0,1423			
	33	0,1467			
	34	0,1512			
	35	0,1556			

Tous ces chiffres ont été déterminés en prenant les moyennes des résultats fournis par Reschitza et le Jernkontoret (*).

(*) Les chiffres donnés dans la première colonne des teneurs en carbone se rapportent à des aciers carburés, en supposant la teneur en manganèse constante et inférieure à 0,300 p. 100. C'est le cas des aciers de Suède et de Reschitza et de la série carburée de Terre-Noire. Les valeurs supérieures à 40 kilogrammes pour L de ne se trouvent que dans les aciers trempés.

Dans les essais de tôles suédoises, ainsi que nous l'avons dit plus haut, on a relaté les valeurs des allongements élastiques p. 100. Il faut remarquer que les tôles recuites ont un allongement élastique maximum moindre que les tôles recuites, et celles-ci un allongement moindre que les tôles trempées, qui sont les plus élastiques.

Pour les aciers de Reschitza, on vérifie la même loi, d'une manière constante, quand on passe du n° 7 au n° 2, soit Bessemer, soit Martin, etc.

Le tableau ci-contre donne, dans la première colonne le maximum de charge en kilogrammes, par millimètres carrés, qu'un acier peut supporter sans se déformer d'une manière permanente appréciable; dans la deuxième colonne, l'allongement élastique maximum correspondant au maximum de charge. Il représente le résumé général des essais de Suède et de Reschitza, qui sont tellement concordants que nous avons pris les moyennes des deux séries d'expériences, les différences que nous avons observées ne portant que sur les millièmes de millimètres, et très-rarement sur les centièmes.

Ces chiffres donnent, comme module moyen d'élasticité à la limite d'élasticité, le chiffre :

E = 2.250.000 kilogrammes par centimètre carré.

pour tous les aciers durs, demi-doux, doux, soit Bessemer, soit Martin, etc.

Ce module, soit dit en passant, est supérieur à celui obtenu pour les meilleurs fers, et à peu près le double de celui fourni par les expériences faites sur les fontes ou les métaux mixtes entre la fonte et l'acier.

En examinant plus spécialement les essais de Reschitza, on observe quelques variations dans les valeurs du module d'élasticité; le module d'élasticité pour les barres rondes et rectangulaires est voisin de 2.233.000 kilog. par centimètre carré, mais arrive, dans certains cas, à des chiffres fort élevés : 2.260.000 et 2.280.000 kilog. Il ne paraît pas, toutefois, varier avec la teneur en carbone. Pour les essieux, rails, bandages, la valeur de E est voisine de 2.250.000 kilog., tandis que, pour les tôles, elle se tient autour de 2.180.000 kilog. par centimètre carré. Il y a sans doute, pour ces derniers essais, une influence dépendant de la constitution physique des tôles, un écrouissage, un étirement exagéré des molécules par le laminage, qui,

comme nous l'avons constaté à Terre-Noire, diminue la densité et, par suite, exerce une influence sur la valeur de E. Nous signalons ce fait en passant, sans toutefois rien en conclure. De plus, E paraît, d'une façon constante, plus grand dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire; enfin il ne varie pas, soit qu'on opère sur des barres ayant une section circulaire ou rectangulaire.

Influence de la diminution de section, par martelage ou laminage, du recuit et de la trempe. — Quoique, pour les différents essais de Reschitza, le corroyage (*) soit souvent très-différent, les valeurs de R et de *a* ne paraissent pas être influencées : cela tient sans doute à la température à laquelle est terminée chaque barre au laminage, et surtout à ce qu'on n'est pas arrivé à un étirage devenant un véritable écrouissage.

De même, dans les essais de tôles suédoises, on a étudié cette influence en partant de lingots plus gros les uns que les autres pour des tôles de même dimension finale : les plus gros étaient amenés sur le pilon à la dimension des plus petits et ensuite laminés; il est impossible de rien conclure des résultats fournis par ces diverses épreuves.

Il a été fait, à Terre-Noire, une série d'épreuves pour étudier la même question : on a pris dans une même coulée de métal doux (qualité marine) des lingots de sections différentes; un premier lingot de 350×220 millimètres, du poids de 445 kilog., a été laminé en tôle de 1.000—2.300—22 millimètres; elle a été refendue en deux, et l'on a pris des essais dans l'une des moitiés; l'autre

(*) Nous entendons par corroyage, le travail de réchauffage et d'étirement que l'on fait subir aux lingots d'aciers fondus, dans toutes les usines; chaque réchauffage de lingots ou de belettes est sorte de ressuage et d'épuration du métal au point de vue de la scorie; en outre, nous entendons par fort corroyage, une forte diminution de la section primitive du lingot : on dit, par exemple, qu'un lingot a subi un corroyage de 1/30.

portion a fourni deux tôles de 1.000—2.000—5 millimètres; un deuxième lingot, de 220×220 millimètres de 280 kilog., a été laminé en tôle de 11 millimètres, coupé en deux, puis laminé en tôle de 1.000—2.000—2,5 millimètres; trois lingots de 240×270 millimètres ont fourni trois belettes de 110×130 millimètres. On a pris des essais dans l'une d'elles, et les deux autres ont été laminées en carrés de 60×60 millimètres et 30×30 millimètres, qui ont fourni de nouvelles barres d'essai. On a essayé, pour chaque barre ou tôle, le métal brut, le métal recuit, le métal trempé à l'eau, au rouge cerise un peu sombre, dans l'eau à 28 degrés, et les résultats obtenus ont été consignés dans le tableau suivant.

Ce tableau, rapproché de ceux des essais de tôles suédoises, non recuites, recuites et trempées, montre la bonne influence du recuisage pour la douceur et, de plus, sa nécessité pour le cas de tôles fortement écrouies, comme celles de 2,5 millimètres, qui, de 56 kilog. et 8 p. 100 d'allongement avant recuit, sont descendues à $41^k,70$ après recuit et ont doublé d'allongement, 16,60 p. 100. D'une manière générale, confirmons ce fait, que, si l'on part d'un métal non recuit, on augmente l'allongement par le recuit, tandis qu'on diminue la limite d'élasticité et la charge de rupture; l'influence est d'autant plus marquée que les aciers sont plus doux et les tôles plus minces. Un résultat très-remarquable, et concordant avec les essais de Reschitza, c'est que les carrés de 110×130 millimèt.,—60×60 millimèt.,—30×30 millimèt., ont des charges et des allongements très-analogues, et ce serait le carré le plus étiré qui, dans ce cas, serait le meilleur. Cela tient, comme nous l'avons déjà fait remarquer, qu'on s'est maintenu dans les limites voulues pour avoir un bon étirage sans arriver à l'écrouissage : c'est précisément, comme dans le tréfilage, une sorte d'écrouissage qui augmente L et R et diminue a et a'.

Aciers doux de Terre-Noire. Qualité marine.

MÉTAL NATUREL.					MÉTAL RECUIT.					MÉTAL TREMPÉ.				
L.	R.	C.	*a*.	*a'*.	L.	R.	C.	*a*.	*a'*.	L.	R.	C.	*a*.	*a'*.
27,85	44,12	29,62	20,62	24,25	21,72	41,00	43,40	23,60	29,12	28,85	60,72	32,35	15,30	19,00
28,75	45,78	49,82	22,30	29,92	19,00	40,57	46,25	21,26	31,00	25,90	58,70	28,12	13,40	19,20
28,00	46,40	42,60	19,70	26,60	17,40	42,25	39,80	21,70	28,40	25,50	63,62	21,00	8,87	11,37
41,50	55,90	27,70	8,00	10,50	20,70	41,70	31,60	16,60	21,70	24,00	64,00	30,37	7,40	8,62
21,80	40,90	39,60	20,70	26,00	24,22	40,40	49,70	21,90	28,00	25,10	57,50	25,25	12,60	15,20
23,80	45,50	41,25	19,20	23,70	22,50	44,50	48,90	24,30	32,90	25,80	70,10	16,12	7,40	8,00
23.80	45,70	43,90	23,30	29,60	20,20	42.60	53,50	26,10	37,00	24,30	59,95	43.45	13,85	18,35

Si, en outre, on examine comparativement, dans chaque cas, le rapport entre la charge à la limite d'élasticité et la charge de rupture par millimètre carré, on trouve en moyenne les chiffres suivants, qui montrent que, si dans le cas du métal recuit, la charge à la limite d'élasticité est voisine de la moitié de la charge de rupture, elle est, dans le cas du métal non recuit, un peu supérieure à cette moitié, et qu'en outre, pour le métal trempé, elle est très-inférieure à la moitié de la charge de rupture; l'allongement étant diminué lui-même par la trempe dans une assez forte proportion, il ne nous semble pas avantageux d'employer la trempe pour les tôles douces, mais, au contraire, un bon recuisage. Par le recuisage, en effet, on augmente le travail de résistance vive à la rupture, ainsi que l'a montré M. Tournaire, dans son travail sur la fabrication des canons en acier doux et demi-doux, en 1870. Ce travail est donné approximativement par la formule :

$$T_r = a\left(R - \frac{R - L}{3}\right),$$

Rapport entre la charge à la limite d'élasticité et la charge de rupture.

DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS.	LA CHARGE de rupture étant 100.
Tôles Bessemer suédoises non recuites.	50,37
Id. id. recuites.	47,35
Id. id. trempées.	40,22
Tôles Martin suédoises non recuites.	42,10
Id. id. recuites.	44,65
Id. id. trempées.	38,92
Tôles Martin de Terre-Noire non recuites.	61,00
Id. id. recuites.	49,00
Id. id. trempées.	41,25

La trempe est faite au rouge cerise un peu sombre dans l'eau à 26° C.

En ce qui concerne les essais de résistance à la traction, on peut encore calculer la charge de rupture, rapportée à la section finale, mais ce chiffre n'offre pas un grand intérêt. Nous avons également cherché le rapport pouvant exister entre l'allongement et la contraction, mais sans succès : ces deux valeurs varient toutes deux en sens inverse des teneurs en carbone, mais d'une manière très différente. C'est le rapport entre la contraction et les valeurs respectives de a et a' qui pourrait conduire à quelques résultats.

Nous rappellerons seulement à ce propos que les allongements sont beaucoup plus considérables quand on a affaire à des métaux d'une pureté physique très-grande, et aussi la contraction considérable des aciers refondus au creuset : nous avons toujours été frappé de ce fait, que les aciers à outils, même trempés, qui ont des charges de rupture de 100 à 120 kilog. ont encore plus de 25 p. 100 de contraction.

Signalons enfin les essais de longues barres de 4m,50 de Reschitza, qui offrent le plus grand intérêt pour l'étude de l'homogénéité des aciers Bessemer, Martin, etc., homogénéité fort remarquable. Ces barres ont été divisées en un grand nombre de petites parties à l'aide de repères assez

fins pour ne pas compromettre la résistance de la barre, et l'on a mesuré les allongements sous charges dans chacune de ces parties.

Influence du manganèse. — Maintenant que nous avons étudié l'influence du carbone sur la résistance et les allongements à la traction, l'influence du corroyage, du recuit, de la trempe, etc., nous allons chercher à déterminer l'influence des autres corps étrangers, Mn, Si, Ph, etc.

Si, dans le cas d'une teneur constante en carbone, on porte, comme nous l'avons fait pour ce dernier élément, les teneurs en manganèse variables en abscisses et en ordonnées les charges de rupture et les allongements correspondants, les lignes qui relient les différents points ainsi obtenus sont sensiblement droites; on trouve ainsi que le manganèse a, sur la résistance à la rupture, une influence un peu moindre qu'un tiers de celle du carbone, et si l'on admet qu'aux environs de 0,500 de carbone, une augmentation ou une diminution de 0,100 dans la teneur en carbone fait monter ou descendre la charge de rupture de 6 kilog., on peut dire, et cela très-approximativement, qu'autour de 0,500 de manganèse, 0,100 de plus ou de moins de manganèse augmente ou diminue la charge de 1^{k},800 à 2 kilog. maximum par millimètre carré. Le manganèse, pareillement, éloigne la limite d'élasticité, et si, dans les aciers carburés, cette limite est voisine de 45 à 50 p. 100 de la charge de rupture, elle est, ainsi que le montrent les essais des coulées 26, 33, 30, 21 de Terre-Noire, supérieure à 50 p. 100 pour les aciers manganésés et voisine de 55 p. 100; c'est là un fait important en ce qui concerne l'obtention pratique des aciers devant supporter de grandes charges sans se déformer d'une manière permanente.

Par contre, l'allongement diminue avec l'augmentation de la teneur en manganèse, mais dans une faible proportion, car cette influence n'est guère que le 1/7 ou le 1/8 de

celle du carbone : ainsi 0,100 de carbone en plus diminue l'allongement *a'* d'environ 4 p. 100, tandis que 0,100 de manganèse ne le diminue guère que de 0,50 p. 100. Il résulte des faits ci-dessus une augmentation considérable du travail de résistance vive à la rupture, qui devient supérieur à celui correspondant aux meilleurs aciers carburés.

Toutes ces remarques se vérifient parfaitement si l'on considère également les tôles suédoises recuites, et l'on peut dire que, dans certaines limites, et suivant les usages auxquels sont destinées les pièces en acier, le manganèse améliore la qualité des aciers, lorsqu'on recherche une forte charge à la limite d'élasticité, c'est-à-dire un fort allongement élastique maximum, alliée en outre à une faculté d'allongement encore considérable à la rupture : une teneur voisine de 1 p. 100 nous paraît toutefois devoir être un maximum dans la pratique actuelle ; les mêmes remarques s'appliquent également aux aciers coulés sans soufflures.

Influence du soufre, du silicium et du phosphore. — En ce qui concerne l'influence du soufre sur la résistance des aciers, les expériences faites jusqu'à ce jour sont en trop petit nombre pour arriver à une conclusion quelconque. Toutefois, on peut dire que le soufre, par sa présence, rendant physiquement les aciers non homogènes, on aura des résultats souvent anormaux et des allongements toujours très-faibles. Ce fait est clairement démontré par les tableaux suivants, faits plutôt au point de vue spécial de l'influence du phosphore, mais d'où, en outre, il ressort que dans les coulées A (dans lesquelles sont entrés une forte proportion de vieux rails, non-seulement phosphoreux, mais en outre sulfureux), les allongements sont diminués considérablement par la seule présence du soufre dans ces aciers.

Toute autre est l'influence du phosphore, que nous avons étudiée depuis longtemps à Terre-Noire, et plus spécialement en 1874. Il y aurait tout un mémoire à faire sur l'in-

uence du phosphore dans les aciers, au seul point de vue les essais par traction; mais le cadre dans lequel nous levons nous restreindre ne nous permet pas de donner ici ous les chiffres relatifs à plus de 1.000 barres que nous avons essayées à la traction, à Terre-Noire, en 1874. Nous donnons donc seulement ci-après quelques chiffres résumant ces expériences; les analyses fournies dans les tableaux représentent une moyenne seulement.

Aciers phosphoreux de Terre-Noire, fabriqués en 1874. — Moyennes générales d'essais de tôles de différentes largeurs, pris dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire. Métal recuit.

DÉSIGNATION des coulées.	Mn.	C.	Si.	S.	Ph.	L.	R.	C.	*a*.	*a'*.
	Teneur rapportée à 100.									
Coulées A. . . .	1,700	0,317	»	»	0,312	37,91	55,13	23,83	14,63	»
Id. B. . . .	0,580	0,338	»	»	0,260	33,57	51,17	45,05	20,45	»
Id. C. . . .	0,670	0,320	»	»	0,348	37,63	56,37	41,58	19,95	»
Moyennes générales.	0,650	0,325	»	»	»	36,37	54,22	36,82	18,31	»

En combinant les résultats relatés ici avec ceux des trois coulées faites au point de vue spécial de l'Exposition de 1878, il nous a été très-facile de conclure:

1° Que l'allongement n'est pas diminué par la présence de 0,300 et même 0,400 de phosphore dans les aciers, fait constaté non-seulement pour les trois coulées n°s 35, 41, 45, mais aussi pour les essais faits à Terre-Noire depuis quatre ans et dont nous venons de parler. Tous les aciers phosphoreux dont nous parlons, qui conservent encore 20 p. 100 d'allongement, sont bien entendu des aciers peu carburés. Les essais faits à Terre-Noire, en 1874, ont eu pour base principale des essais sur tôles de différentes longueurs et largeurs depuis 0m,400 seulement de large jusqu'à 1m,50 ou 2 mètres, et en outre sur des âmes ou champignons de rails: les essais ont porté 1° sur des barrettes décou-

pées au rabot dans les tôles, de manière à y prend métal dans un état naturel; 2° sur des barrettes découq à la cisaille et redressées à chaud; 3° sur des barrette cuites. Nous n'avons donné ici que les essais recuits, q que les autres soient également fort intéressants.

L'influence du phosphore sur la charge à la limite d'é ticité et sur la charge de rupture est très-considérable, l'on peut dire que 0,100 p. 100 de phosphore augmente charge de rupture de 1^k,500; son influence est donc presq aussi forte que celle du manganèse et marquée par 1/4 celle du carbone. La charge à la limite d'*élasticité* est fo tement affectée, puisqu'elle atteint 62 à 66 p. 100 de l charge de rupture; il y a dans l'observation des coulées ci-dessus, et des coulées 35, 41, 43 de l'Exposition de 1871 une concordance véritablement fort remarquable, et sur laquelle nous insistons particulièrement; elles sont, *en effet*, le résumé de deux séries d'expériences faites à des points de vue différents, à quatre années de distance, *par des* opérateurs différents, en introduisant dans le bain, soit des fontes, soit des rails phosphoreux.

Enfin de ces mêmes expériences il résulte que la contraction est généralement plus faible pour un même allongement que pour les aciers carburés et manganésés; et dans les nombreux essais de tôle dont nous parlions tout à l'heure, nous avons souvent constaté des allongements de *20 et 22* p. 100 mesurés sur 0^m,200, alors que l'allongement pour 100, mesuré sur 0^m,100, atteignait seulement *21 à 26* ou 27 p. 100, c'est-à-dire que la barre s'allongeait également dans toutes ses parties. C'est là un caractère d'homogénéité qui s'explique facilement, en se rappelant que pour une même teneur en carbone, les aciers contenant du phosphore sont beaucoup plus fluides que ceux exempts de cet élément; que, par suite, le départ du gaz s'y fait plus facilement, et que l'on obtient des lingots ne présentant que de très-légères soufflures; les aciers doux, exempts de

phosphore et coulés sans soufflures, par conséquent très-homogènes, ayant jusqu'à 25 p. 100 d'allongement, ont en général une faible contraction. Nous reviendrons sur ce sujet en étudiant les essais au choc.

Nous tenons enfin à rappeler ici quelques chiffres de l'excellent mémoire de notre vénéré maître, M. Gruner, sur les aciers phosphoreux, publié en 1869, et qui renferment des considérations vraiment remarquables sur la structure et la propriété mécaniques des aciers : ce mémoire, de quelques pages seulement, est en général trop peu connu.

Aciers phosphoreux obtenus par le procédé Heaton. (Langley Mill.)

DÉSIGNATION des échantillons.	ANALYSES.					TRACTION.				
	Mn.	C.	Si.	S.	Ph.	L.	R.	C.	*a*.	*a'*.
N° 1......	»	0,490	0,100	pas de traces	0,300	»	65,77	»	3,50	»
2......	»	0,570	0,120	0,001	0,230	»	65,76	»	2,30	»
3......	»	0,520	0,160	0,001	0,240	»	79,59	»	7,60	»
4......	»	0.540	0,100	0,001	0,240	»	73,74	»	3,10	»
5......	»	0,540	0,120	faibles traces	0,280	»	69,52	»	8,20	»
6......	»	0,470	0,090	pas de traces	0,236	»	73,88	»	0,10	»
Moyennes...	»	0,522	0,100	»	0,266	»	71,38	»	»	»

Les chiffres de la colonne *a* sont les allongements pour 100 maxima permanents avant la rupture.

Le manganèse n'ayant pas été dosé dans ces différents aciers, nous ne pouvons que faire des hypothèses, et comme ils ont été obtenus par le procédé Heaton, avec incorporation de minerai de manganèse dans l'appareil, il nous est permis de supposer qu'ils contiennent autour de 0,600 de manganèse : ce qui explique, dans une certaine mesure, la forte valeur de R; en outre, ces aciers ont été sans doute essayés sans recuisage, d'où résultent les faibles allongements observés; ils sont enfin de la nuance demi-dure, à assez forte teneur en carbone.

En résumé donc, les aciers phosphoreux sont caractérisés par une très-forte charge à la limite d'élasticité, une charge de rupture assez forte, et principalement une contraction presque toujours faible; l'allongement, quand le métal est bien recuit, n'est pas ou très-peu altéré.

Le silicium, dans les aciers, a une influence très-analogue à celle du carbone, mais beaucoup moindre; elle est négligeable dans les aciers qui n'en contiennent pas plus de 0,100, car elle n'est que le 1/6ᵉ de celle du carbone: pour les aciers en contenant une quantité un peu plus considérable de 0,100 à 0,300 ou 0,350, on peut dire que 0,100 de silicium correspond environ à 1 kilog. de charge de rupture par millimètre carré, mais que l'allongement est, par contre, diminué de 0,60 par 100. Ces coefficients ont été déterminés par de nombreux essais faits sur les coulées de métal, sans soufflures, pour projectiles.

En résumé des considérations qui précèdent sur l'influence des corps étrangers qui entrent dans la constitution physique des aciers, nous proposons les formules suivantes comme représentant la moyenne de tous les essais que nous venons d'étudier, en ce qui concerne la charge de rupture par traction et l'allongement a' mesuré sur 100 millimètres: elles se rapportent au métal recuit.

$$R = [30 + 18c + 36c^2] + 1{,}80Mn + 1{,}50Ph + 1.000Si.$$

$$a' = [42 - 36c] - 0{,}55Mn - 0{,}60Si.$$

dans lesquelles les teneurs sont exprimées en tant pour 100.

Nous n'avons pas fait intervenir l'influence du soufre dans ces formules, n'ayant pu, faute de chiffres, déterminer le coefficient spécial relatif à cet élément: ainsi que nous l'avons dit plus haut, il est essentiellement nuisible en ce qui concerne l'allongement; le métal sulfureux n'est pas homogène, est poreux et rouverin à chaud, etc.

En rapprochant ces formules des observations que nous

avons faites sur les valeurs relatives de la charge de rupture, de la charge à la limite d'élasticité, des allongements a et a', a_1 et de la contraction pour 100, on aura tous les éléments caractérisant un type d'acier donné.

Ces formules sont applicables au fer doux fondu homogène, contenant encore au moins 0,180 de carbone et 0,200 de manganèse; elles donneraient, pour le fer doux pur idéal, soit soudé, soit fondu :

$$R = 30 \text{ kilogrammes}, \quad a' = 42 \text{ p. } 100,$$

Elles sont en outre parfaitement applicables aux aciers de Suède et d'Autriche, aussi bien qu'aux aciers de Terre-Noire de types très-variés, carburés, manganésés, phosphoreux, qui nous ont toutefois servi de premier point de départ.

c. **Épreuves de résistance à l'écrasement.**

Les essais de compression que nous citerons ici sont de deux sortes : ceux relatifs aux aciers de Terre-Noire, qui ont été faits sur des cylindres de 100 millimètres carrés de base et de 10 millimètres de hauteur, pour les séries d'aciers carburés, manganésés, phosphorés et coulés sans soufflures, soit sur le métal recuit, soit sur le métal trempé à l'huile ou à l'eau. Ces cylindres ont été soumis tous à une charge constante de 32.000 kilog., et l'on a mesuré leur réduction de hauteur sous cette charge. Ce sont là des essais qui n'ont aucun caractère scientifique, mais le temps dont nous disposions ne nous a malheureusement pas permis de faire autrement. Ils ne peuvent servir qu'au classement des aciers déjà étudiés par les épreuves à la traction. Le tableau suivant donne la valeur du rapport $\frac{h-h'}{h}$ de la hauteur finale à la hauteur initiale du cylindre représentée par 100.

Aciers de Terre-Noire. — Essais de résistance à l'écrasement.

Valeurs de $\frac{h - h'}{h}$.

DÉSIGNATION ET NUMÉROS des aciers.		MÉTAL RECUIT.	MÉTAL TREMPÉ à l'huile.	MÉTAL TREMPÉ à l'eau.
Aciers carburés. . .	n° 59. . . .	70,70	58,70	64,25
	66. . . .	65,40	57,90	59,60
	70. . . .	60,25	52,20	55,80
	74. . . .	55,35	46,30	52,50
	82. . . .	54,00	42,80	52,50
Aciers manganésés.	26. . . .	63,75	53,10	59,30
	33. . . .	62,30	52,80	58,80
	30. . . .	59,75	51,00	56,50
	21. . . .	64,75	57,10	60,35
Aciers phosphoreux.	41. . . .	61,80	40,43	58,10
	35. . . .	57,60	4,18	51,00
	45. . . .	58,10	9,68	53,10
Aciers coulés sans soufflures.	140. . . .	66,00	55,60	60,80
	144. . . .	62,50	54,80	58,90
	148. . . .	57,50	2,00	54,00
	152. . . .	52,75	1,00	51,50
	278. . . .	57,35	55,20	2,45

La deuxième série d'expériences est fournie par Reschitza. On a opéré sur des cylindres de $9^{c2},500$ de section et 5 centimètres de hauteur et sur des prismes carrés de $3^{c} \times 3^{c} = 9^{c2}$ de section et 5 centimètres de hauteur. On a déterminé, pour chacun d'eux le module d'élasticité moyen à la limite d'élasticité, le commencement du fort écrasement et la résistance maxima à l'écrasement. Le module et la limite d'élasticité sont les seuls chiffres intéressants à étudier, car les valeurs des deux autres sont souvent irrégulières, par suite de ruptures obliques.

On a déterminé, dans la même série d'épreuves, les densités des différents aciers; tous ces chiffres sont consignés dans le tableau suivant :

Aciers de Reschitza. Valeurs de E, L et densités moyennes.

NUMÉROS de dureté.	ACIER MARTIN.			ACIER BESSEMER.			MOYENNES.		
	d.	E.	L.	*d.*	E.	L.	*d.*	E.	L.
2	7,8348	2.249.501	32,50	»	»	»	»	»	»
3	7,8391	2.247.500	36,03	7,1863	2.256.500	44,02	7,8277	2.251.773k par centim. q.	40.02
4	7,8517	2.225.000	22,10	7,8489	2.254,000	31,42	7,8503		26,76
5	7.8555	2.274.000	23,67	7,8464	2.261.000	25,85	7,8509		24,76
6	7.8624	2.272.000	21,98	7,8573	2.221.500	21,95	7,8598		21,97
7	7,8675	2.247.000	19,32	7,8580	2.261.500	22,50	7,8627		20,91

Ce tableau donne seulement les moyennes pour chaque dureté d'aciers ; mais si l'on examine en détail les tableaux d'essais de Reschitza (Catalogue spécial pour l'Exposition de 1878), on remarque que L est plus grand pour la section ronde que pour la section carrée, tandis que R est plus grand pour la section carrée que pour la section ronde ; L est plus grand pour les aciers durs que pour les aciers doux. Il en est de même du commencement du fort écrasement et de la rupture totale ; mais ces valeurs donnent de moins bonnes indications que la limite d'élasticité.

L varie de 14k,44 n° 7 Martin carré à 53,60 n° 3 B. rond.

R totale varie de 91 kil. n° 6 Martin carré à 216 kil. n° 3 M. carré.

Le module d'élasticité moyen est très-voisin de celui déterminé par les essais de traction = 2.250.000 kilog. par centimètre carré.

La densité d'une manière générale est plus forte pour les aciers Bessemer que pour les aciers Martin, pour un même numéro de dureté. Cette circonstance tient sans doute à ce que l'on coule généralement plus chaud au Bessemer qu'au Martin. Enfin elle est plus forte pour les aciers doux que pour les aciers durs, ce qui s'explique facilement, puisque ces derniers contiennent plus de carbone que les premiers. Le fait que la limite d'élasticité est

plus éloignée pour la section ronde que pour la section carrée doit être rapproché de la même observation que nous ferons plus loin, en ce qui concerne les essais de résistance à la torsion.

L'usine de Reschitza a fait également essayer à la compression le métal brut des lingots ; on observe les mêmes lois en ce qui concerne la dureté des aciers, mais les chiffres E, L sont moindres que pour les mêmes aciers laminés.

d. Épreuves de résistance au cisaillement.

Une série de boulons de différentes duretés fabriqués avec des aciers Bessemer et Martin ont été éprouvés au cisaillement : la résistance à la rupture par cisaillement varie de $31^k,30$ par millimètre carré, n° 7 Martin, à $68^k,$ n° 3 Bessemer. Le fer doux à grain résiste comme les aciers les plus doux et le fer à nerf descend à 28 kilogrammes.

e. Épreuves de résistance à la flexion, au pliage, cintrage, etc.

Les résultats de ces épreuves nous sont fournis principalement et sous des formes variées, par Reschitza, le Jonkontoret et Terre-Noire. Les essais à la flexion proprement dite ont été faits par Terre-Noire sur des carrés laminés et rabotés de 100 × 100 millimètres, provenant de lingots de 350×350 millimètres, martelés puis laminés à 120×120 millimètres, et par Reschitza sur des prismes plus hauts que larges, environ 14 centimètres de hauteur sur 7 centimètres de largeur et sur des ronds de 14 centimètres environ de diamètre : les uns et les autres provenant de lingots de 400 × 400 millimètres. L'écartement des points d'appui a toujours été de 1 mètre pour les essais de Terre-Noire et pour les arbres ronds de Reschitza ; il a été de $1^m,10$ pour les barres rectangulaires de Reschitza, mais pour ces derniers essais tous les chiffres ont été rendus comparables par

les formules de résistance à la flexion des pièces posées sur deux appuis et chargées en leur milieu.

Influence du carbone. — Les principales remarques que l'on peut faire sur les essais à la flexion, en ce qui concerne les essais de Reschitza, sont les suivantes :

Élévation de la charge à la limite d'élasticité, de la charge de rupture, et flèche moindre avec l'augmentation de teneur en carbone ; les barres rondes, ainsi que dans les essais à la compression et à la torsion, se comportent mieux ; elles fournissent une valeur de L plus forte et une flèche moindre que les barres carrées, le tout étant bien entendu rapporté à l'unité.

Le module d'élasticité moyen, calculé à l'aide des formules de résistance à la flexion, est voisin de celui fourni par les essais de traction.

Les résultats d'épreuves faites à Terre-Noire sont parfaitement d'accord avec ceux de Reschitza, une forte teneur en carbone augmente L et R en diminuant la flèche ; les aciers à faible teneur en carbone arrivent à un ploiement tellement considérable que l'on ne peut les rompre : pour ceux-ci la charge à la limite d'élasticité est peu élevée, la charge de rupture considérable. Au contraire, pour les aciers à forte teneur en carbone, la charge de rupture diminue de plus en plus, et devient très-voisine de la charge à la limite d'élasticité qui est toujours très-élevée.

Influence du manganèse. — Si maintenant nous examinons les épreuves à la flexion, des aciers manganésés de Terre-Noire, le premier fait qui nous frappe est une augmentation très-considérable de la charge à la limite d'élasticité, une flèche faible, c'est-à-dire une grande raideur, et en outre une très-forte résistance à la rupture totale, contrairement à ce qui a lieu pour les aciers carburés pour lesquels une forte limite d'élasticité correspond à une charge de rupture relativement faible : ce sont là des faits extrêmement remarquables. Ainsi que nous le disions à propos

des essais à la traction, le manganèse peut être très-
ment employé jusqu'aux teneurs voisines de 1 p. 100
les pièces devant supporter de fortes charges sans dé
mation permanente, telles qu'essieux, manivelles, et
général toutes les pièces de machines, etc.

Toutes ces conclusions s'appliquent bien entendu
métal recuit; dans le cas de pièces exigeant, ou pour mi
dire, pour lesquelles la trempe serait exigée, peut-êt
tort par les consommateurs, on ne pourrait pas emplo
les aciers manganésés, qui deviennent en effet, dans ce c
extrêmement fragiles.

Influence du phosphore, soufre, silicium. — Grâce à la
composition, forte teneur en manganèse, les aciers phos-
phoreux ont une forte charge à la limite d'élasticité par
flexion; en outre elle croît avec la teneur en phosphore
fait que nous rapprocherons des conclusions relatives à la
traction : de plus, le métal phosphoreux ayant dépassé le
point de déformation permanente, devient pour *ainsi dire*
mou, et se déforme plus vite que les aciers ordinaires, il
doit en effet, vu la faible distance entre L et R, se déformer
plus vite pour atteindre le même allongement ou la même
flèche. Nous renvoyons pour plus de détails, au mémoire
de M. Grüner, déjà cité. Nous rappellerons enfin que tous
nos aciers phosphoreux de Terre-Noire sont très-peu car-
burés, et nous renvoyons à ce que nous avons dit pour les
aciers doux à propos des essais par flexion; ils deviennent,
après la limite d'élasticité, mous et prennent une flèche
trop considérable pour qu'on puisse arriver à les rompre.

Le soufre a, sur les aciers, dans les essais à la flexion,
une influence nuisible, comme dans les essais par traction.

Quant au silicium, il joue le même rôle que le carbone,
avec un coefficient beaucoup moindre.

Si l'on considère plus spécialement les aciers coulés sans
soufflures, on voit qu'ils se comportent à la flexion abso-
lument comme les aciers martelés et laminés de même

composition chimique ; mais pour arriver au maximum de qualité il est nécessaire que ce métal cristallin, en sortant du moule, soit soumis à un recuit et à une trempe, faits à des températures dépendant de sa composition chimique elle-même; mais ces considérations nous entraîneraient actuellement hors du cadre que nous nous sommes tracés, et quelque grand que soit l'intérêt pratique de ces questions, nous devons les renvoyer à plus tard.

Un certain nombre d'essais de pliage ont été faits également sur les aciers de Terre-Noire, mais seulement après trempe au rouge cerise un peu sombre dans l'eau à 28°, comme cela se pratique pour les épreuves de réception des tôles de marine. Ces essais ne présentent qu'un intérêt secondaire dans le présent travail et nous le passerons sous silence, ainsi que les essais de pliage des tôles suédoises, qui sont toutefois fort remarquables et nécessitent une mention spéciale.

Citons enfin les épreuves de cintrage du Jernkontoret, qui consistent à prendre des disques de tôle de 320 millimètres, à les poser sur un anneau de 200 millimètres de diamètre intérieur et à les cintrer jusqu'à fissure à l'aide d'un poinçon de 50 millimètres de diamètre. Quelques épreuves du même genre ont été faites à Terre-Noire sur des tôles minces destinées à être embouties à froid : les unes et les autres ont permis de classer les aciers par leur degré de dureté ; du reste, ce sont là des épreuves tellement spéciales aux tôles que nous ne pouvons pas nous y arrêter plus longtemps : elles sont essentiellement comparatives et nullement scientifiques.

Dans ces sortes de pliage à froid, l'influence du manganèse se fait sentir également comme dans les essais de flexion. Le phosphore et le soufre sont très-nuisibles dans les tôles devant être embouties à froid, etc.

f. Épreuves de résistance à la torsion.

Quoique les efforts à la torsion se rencontrent sou en pratique, Reschitza seul nous fournit quelques chi du reste fort intéressants : on a opéré sur des barres car de 10 centim. × 10 centim. et sur des arbres ronds 10 centimètre de diamètre : chaque pièce avait 40 cen mètres de long et était chargée à l'aide d'un levier 50 centimètres supportant l'effort à une de ses extrémit l'autre extrémité étant fixée sur le barreau d'essai.

On a mesuré pour chaque échantillon, la charge à limite d'élasticité, la charge de rupture, et en même tem l'angle de torsion maximum, au moment de la rupture. les valeurs des déformations avant d'atteindre la limite d'é ticité, on a déduit le module d'élasticité moyen, comme l'a fait pour les épreuves par traction, compression, flexi

Il est remarquable que ce module d'élasticité est toujours plus fort pour les barres rondes que pour les barres rectangulaires ; ce qui permet de conclure que la théorie de la résistance à la torsion n'est exacte, même dans les limites de l'élasticité, que pour les sections circulaires : ce module varie de 998.000 kilog. par centimètre carré (n° 3 Martin rond), à 794.000 kilog. (n° 5 Martin carré — et n° 7 Bessemer carré). La limite d'élasticité, ainsi que dans les autres épreuves, s'abaisse avec la teneur en carbone, et paraît, pour un même degré de dureté, plus forte pour les barres rondes que pour les barres carrées ; elle varie de $30^k,62$ par millimètre carré (n° 3 Bessemer carré), à $11^k,5$ (n° 7 Bessemer rond). La résistance suit la même loi, de $68^k,21$ (n° 2 Martin carré) à 32,73 (n° 3 Bessemer carré) et $46^k 11$ (n° 7 Martin rond).

Contrairement à la limite d'élasticité, la résistance à la rupture complète est plus forte pour les barres carrées que pour les barres rondes, fait à rapprocher de ceux observés dans les essais de compression.

Enfin l'angle de torsion à la rupture atteint un maximum de 608° pour le n° 7 Bessemer rond, et descend à 19° pour le n° 3 Bessemer rond, en écartant le n° 3 Bessemer carré, qui ne donne que 4°,5 et paraît anormal. Cet angle de torsion est sensiblement plus considérable pour les barres rondes, sans doute par suite de la symétrie plus grande, ce qui expliquerait aussi leur plus forte limite d'élasticité; plus difficile à expliquer nous paraît la résistance à la rupture plus forte pour les barres carrées. Les angles en dehors du cercle inscrit jouent sans doute un rôle complexe pour les essais à la compression et à la torsion, lorsque l'on a dépassé la limite d'élasticité.

g. Épreuves de résistance au choc.

Si la Cie L. R. P. des chemins de fer autrichiens a présenté, comme nous venons de le voir, des résultats d'épreuves fort remarquables, il faut dire qu'il est bien regrettable qu'ils ne soient pas complétés par une étude scientifique de la résistance au choc : quelques essais de rails et d'essieux seuls peuvent fournir certaines indications, mais ce sont là des essais très-spéciaux, à la merci des cahiers de charges, et toujours difficiles à comparer entre eux.

Les essais au choc, faits sur les aciers de Terre-Noire, nous montrent que les aciers carburés, se classent au choc comme à la traction et à la flexion : les aciers manganésés, dont la teneur en manganèse ne dépasse pas 1 p. 100, sont réellement fort remarquables par leur grande roideur; au-dessus de cette teneur, ils deviennent fragiles au choc. Le phosphore, à la dose de 0,25 dans un acier peu carburé ne paraît pas nuisible : au-dessus on arrive à la fragilité, fait du reste très-bien connu aujourd'hui.

En ce qui concerne les aciers coulés sans soufflures, il ne faut pas chercher à obtenir une trop grande résistance

à la traction par addition de manganèse, si on a plus de 0.500 à 0.700 de carbone, car alors tous les aciers deviennent fragiles au choc. Toutefois, si on connaît parfaitement la composition chimique de l'acier, s'il est convenablement recuit ou trempé, on peut arriver à des résultats extrêmement remarquables, en ce qui concerne la résistance au choc : mais la question de la trempe, même encore à l'heure actuelle, est chose si délicate, que dans chaque cas particulier on devra étudier non-seulement la composition chimique du métal, mais encore sa structure physique, sa dureté à l'outil, et aussi la forme même des pièces, etc. Il y a là un champ d'études fort considérable, sur lequel nous pourrons revenir à l'avenir.

Il nous reste à dire quelques mots des essais *au choc* des tôles suédoises, mais tout à fait spéciaux, faits sur des tôles de 9 millimètres d'épaisseur découpées en disques de 1m,00 de diamètre environ et fixées à l'aide de boulons sur un anneau rigide. On fit alors tomber au centre du disque, d'une hauteur de 4m,50, un mouton de 872 kil. à tête demi-sphérique. On mesura pour chaque échantillon, les hauteurs de chute successives du mouton, la profondeur des dépressions à chaque coup, en observant en outre le mode de rupture.

A ce genre d'épreuves, les tôles Martin se sont montrées plus douces que les tôles Bessemer, de même teneur en carbone : les tableaux d'essais exposés par le Jernkontoret sont fort intéressants à consulter, en ce qui concerne l'emploi des tôles d'acier dans la construction des navires, et montrent que l'on doit, pour cet usage, rechercher les tôles douces, susceptibles de prendre, avant rupture, un allongement considérable, ou une dépression très-forte à l'épreuve au choc dont nous venons de parler, quitte à sacrifier quelques kilogrammes sur la charge de rupture par traction : nous avons déjà dit, à propos des épreuves à la traction, que si l'on calcule le travail résistant, que l'on doit

vaincre pour rompre une pièce donnée, la valeur de ce travail est représentée approximativement, d'après M. Tournaire, par :

$$T_r = a\left(R - \frac{R - L}{3}\right),$$

formule dans laquelle a a une grande importance.

Donc, en ce qui concerne les tôles, on peut dire qu'elles doivent être d'un métal aussi doux que possible et parfaitement recuites, et qu'en outre, pendant leur travail, soit à chaud, soit à froid, on devra à tout prix éviter les effets d'écrouissage. C'est ainsi, par exemple, que nous considérons comme très-vicieux : 1° le laminage à trop basse température ; 2° un travail à chaud d'emboutissage, etc., en chauffant une seule partie de la tôle ; 3° un travail à froid par cisaillage, poinçonnage, etc.

Pour les autres métaux recuits, tels que le cuivre et ses alliages, bronzes, laitons, le zinc, le plomb, etc., le travail de façonnage se fait toujours à une certaine température, variable sans doute pour chaque métal. Pourquoi traiterait-on, et nous disons à tort, l'acier comme un métal exceptionnel, qui est peut-être, au contraire, de tous les métaux usuels, le plus influencé par l'écrouissage à froid ou à chaud : il nous semble donc naturel et exact de penser que l'on devra, par tous les moyens possibles, éviter ces influences vraiment pernicieuses, et qu'il est du devoir de tous les industriels d'étudier à fond, dans chaque cas particulier, ces différentes questions ; et nous disons, dans chaque cas particulier, car, en effet, ce que nous venons de signaler, en ce qui concerne les métaux doux pour tôle, n'est pas applicable aux métaux qui doivent, dans un temps très-court, subir des efforts infiniment grands, comme les canons, par exemple, pour lesquels il est nécessaires d'obtenir un métal non fragile, mais dur et rigide, possédant une très-forte charge à la limite d'élasticité ; les mêmes

principes doivent s'appliquer aux pièces de machines, et qui doivent avant tout être rigides et résister à l'usure.

Outre les essais de tôles suédoises dont nous venons de parler et qui nous ont amené à quelques considérations sur la nature des aciers à employer suivant les différents cas dans la pratique, on a fait quelques essais de pliage par choc, mais les résultats auxquels on est arrivé ne sont pas assez concluants pour que nous les donnions ici.

En ce qui concerne les essais mécaniques des aciers, la question est loin d'être épuisée, et il est à désirer que chaque usine fasse, chacune de son côté, ses efforts pour fournir à la science des chiffres sur des bases bien définies, afin de rendre la comparaison plus facile qu'elle ne l'est jusqu'à présent, et pour ne parler que des épreuves principales : quand verrons-nous tous les consommateurs et tous les fournisseurs mesurer l'allongement sur 100^{mm} ou mieux encore sur 200^{mm}, chiffre qui commence à se répandre aujourd'hui un peu partout? En opérant sur des barreaux ayant des points de repère à 200^{mm}, on a cet avantage considérable de pouvoir toujours, sur chaque barre d'essai, mesurer l'allongement sur 100^{mm}, et c'est ce qui est toujours fait à Terre-Noire pour les études.

Dans les essais à la flexion qui sont faits, tantôt sur des rails, la comparaison devient absolument impossible, à moins d'avoir recours aux formules toujours plus ou moins compliquées de résistance à la flexion. Pourquoi ne pas adopter les mesures métriques et opérer sur des prismes carrés de 100×100^{mm}, posés sur des appuis à 1 mètre de distance? On simplifierait ainsi les calculs et cela permettrait une comparaison rapide entre les produits des diverses usines. Nous pourrions en dire autant des épreuves au choc qui non-seulement varient d'une usine à l'autre, mais qui malheureusement ont varié dans une même usine, avec la nature même du métal soumis à l'épreuve.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Après nous être occupés en détail des essais de différents genres auxquels peuvent être soumis les aciers, il nous faudrait maintenant indiquer, dans les limites du possible, les rapports existant entre ces divers modes d'essai. Quels sont, par exemple, les rapports entre les essais à la traction, à la torsion, au choc, etc. Ce serait là une question intéressante à élucider, et nous pouvons dire dès à présent que le mieux pour apprécier la qualité d'un métal est de faire simultanément des essais à la traction et des épreuves de choc ou de pliage : c'est ainsi que procèdent, du reste, l'artillerie et la marine; les compagnies de chemins de fer ont surtout recours aux essais de flexion et de choc, etc.

D'après ce que nous avons examiné dans ce travail, et aussi d'après les nombreux essais de différente nature faits à Terre-Noire depuis plusieurs années, les rapports suivants nous paraissent exister entre les essais à la traction, à la flexion et au choc.

Un métal qui, aux épreuves par traction, donne une faible charge à la limite d'élasticité donne également une faible valeur de R, et en général, par contre, un fort allongement et une contraction le plus souvent variable. Si les valeurs de L et de R croissent, *c* et *a* diminuent. Voilà une loi générale qui s'applique, comme nous l'avons vu, à l'acier type, c'est-à-dire à l'acier carburé. Le même métal essayé à la flexion donnera une faible charge à la limite d'élasticité et une forte flèche à la rupture, de sorte que sa charge de rupture par flexion, semble devoir devenir très-considérable, mais en réalité cela tient à ce que l'on arrive à un pliage considérable avant d'atteindre la rupture. Contrairement, un acier dur ayant à la traction une forte charge

à la limite d'élasticité et une forte charge de rupture, p sentera à la flexion une très-grande valeur de L, une t faible flèche, et la valeur de R suit de très-près la val de L, dans le cas où la valeur de C, dans l'essai de tracti est faible. Dans le cas au contraire ou C est grand, la leur de R s'éloigne de L et devient quelquefois fort con dérable, comme dans le cas des aciers manganésés.

Si nous résumons maintenant les essais au choc, on pe dire qu'un métal doux à la traction sera doux *égalem* au choc, à la condition toutefois d'avoir une forte contra tion. D'autre part un métal, même dur à la traction, pourr résister au choc s'il a comme on dit du corps, s'il présente à la traction une forte valeur de contraction ; c'est ains que les aciers, relativement durs à 0.600 ou 0,700 *p. 10* de carbone, résistent parfaitement au choc ; de même le aciers à faible teneur en carbone contenant 0,800 à *1 p. 10* de manganèse. L'essai à la traction peut donc, dans cer taines mesures être considéré comme le *critérium de la* valeur pratique des aciers.

Les aciers durs à la traction résistent également bien à la compression, et très-bien surtout au cisaillement. A la torsion, les aciers se classent de même et nous avons vu que les aciers doux pouvaient subir sans rupture une torsion de près de deux circonférences.

Enfin, en résumant ce qui concerne l'influence du Mn, C, Si, S, Ph, sur les propriétés mécaniques des aciers, nous dirons :

a. Le carbone rend les aciers rigides et élastiques ; il accroit leur charge à la limite d'élasticité ou, ce qui revient au même, leur allongement élastique maximum ; mais leur résistance vive de rupture donnée approximativement par

$$T_r = a\left(R - \frac{R-L}{3}\right) \text{ (*)}$$

(*) T_r est exprimé en kilogrammètres pour 1 millimètre carré de section et 100 millimètres de long.

diminue dès que le carbone dépasse 0,500 p. 100. Il passe de $0^{kgm},930$ environ pour les aciers extra doux à $0^{kgm},300$ pour les aciers durs pour outils ; le carbone diminue *a* et *c*, ce qui se traduit pour les aciers durs par une fragilité à la flexion et au choc.

b. Le manganèse comme le carbone rend les aciers rigides et élastiques, et accroît leur allongement élastique maximum, mais l'allongement à la rupture reste toujours assez considérable ainsi que la contraction, ce qui se traduit par une forte valeur de L et R à la flexion, une bonne résistance au choc et aussi une valeur plus grande de la force vive de résistance, qui varie de $1^{kgm},000$ par millimètre carré pour 100 millimètres de long à $0^{kgm},772$.

c. Le silicium joue le même rôle que le carbone, avec un coefficient de 1/6ᵉ environ; il rend les aciers durs, en diminuant légèrement les allongements. La valeur de T*r* décroît par suite avec la teneur en silicium.

d. Le soufre rend les aciers non homogènes, diminue la charge de rupture et l'allongement, tant au choc qu'à la traction et à la flexion.

e. Le phosphore, ainsi que le dit M. Gruner dans le mémoire cité plus haut et ainsi que nous l'avons constaté par nos nombreuses expériences à Terre-Noire, rend les aciers rigides et élastiques, accroît leur allongement élastique maximum et leur résistance vive à la rupture qui atteint jusqu'à $1^{kgm},200$, mais ne modifie pas leur dureté. Ces aciers manquent de corps, « ils sont aigres sans être durs. »

Aux essais à la traction et à la flexion, ils paraissent supérieurs, mais deviennent fragiles au choc dès que la proportion de phosphore dépasse 0,250 p. 100, si le carbone reste voisin de 0,300 p. 100. En diminuant encore la proportion de carbone, on arrive à des résultats fort remarquables ; toutefois, pour apprécier le manque de corps des aciers phosphoreux, il est nécessaire de faire des essais au

choc, fait que l'on peut prévoir par leur faible contraction de section aux épreuves par simple traction. Ce sont des aciers, qui sont élastiques, mais qui deviennent peu après la limite d'élasticité mous et fragiles.

f. Nous ne parlerons ici que pour mémoire de l'influence du chrôme, qui paraît jouer un rôle plus énergique que le manganèse, mais très-analogue. Il augmente considérablement la charge en diminuant peu l'allongement.

Aux épreuves de traction, flexion, etc., il faudrait joindre des épreuves au choc bien comparatives et, en outre, des épreuves à la pénétration par pression lente ou par choc, qui peuvent offrir le plus grand intérêt pour les aciers destinés au matériel d'artillerie, de la marine et des chemins de fer. Espérons que des essais de ce genre viendront bientôt compléter ceux que nous avons examiné dans le présent travail.

Terre-Noire, le 6 décembre 1878.

EXPLICATION DE LA FIGURE 9, PLANCHE VI.

Les courbes ont été construites en supposant les aciers complétement exempts de manganèse.

Pour les abscisses, chaque division représente 0,050 de carbone.

Pour les ordonnées, chaque division représente 5 kilog. de charge, ou 5 p. 100 d'allongement, ou 5 p. 100 de contraction.

Note sur les rapports existant entre la composition chimique et les propriétés mécaniques.

ESSAIS A LA TRACTION.

NATURE provenances des aciers.	ANALYSES.					ESSAIS A LA TRACTION.							
	Mn	C	Si	S	Ph	L	R	C	a_1	a	a'	T	E
	Rapportés à 100.												
la Bessemer. . .	0,151	0,100	0,029	0,005	0,028	18,25	35,35	60,73	»	33,50	»	0,0829	Coefficient d'élasticité moyen = 2,255059 kilog. par centimètre carré.
Id.	0,223	0,170	0,017	traces	0,031	15,55	34,75	57,84	»	32,50	»	0,0639	
Id.	0,267	0,230	0,019	0,005	0,028	18,30	37,80	57,08	»	30,50	»	0,0798	
Id.	0,209	0,250	0,021	0,010	0,030	24,40	40,30	53,52	»	30,90	»	0,0857	
Id.	0,238	0,300	0,023	0,010	0,031	19,60	42,55	46,15	»	30,35	»	0,0891	
und Bessemer. .	0,094	0,100	0,023	0,025	0,019	15,50	34,60	64,17	»	33,15	»	0,0632	
Id.	0,115	0,150	0,019	0,020	0,024	18.00	40,20	52,80	»	29,50	»	0,0794	
Id.	0,180	0,180	0,016	0,020	0,020	19,90	39,60	55,58	»	30,75	»	0,0878	
Id.	0,252	0,250	0,037	0,020	0,016	21,35	45,10	49,08	»	28,75	»	0,0928	
Id.	0,360	0,300	0,037	0,020	0,024	20,30	48,95	44,67	»	27,55	»	0,0998	
eholm Bessemer.	0,050	0,050	0,006	»	0,028	18,80	35,15	63,34	»	30,75	»	0,0849	
Id.	0,057	0,080	0,006	traces	0,023	17,40	36,00	61,29	»	33,35	»	0,0738	
Id.	0,108	0,100	0,014	Id.	0,020	17,75	36,00	61,18	»	31,00	»	0,0799	
Id.	0,115	0,150	0,013	Id.	0,023	17,65	39,60	51,81	»	30,45	»	0,0795	
Id.	0,122	0,180	0,018	Id.	0,025	16,95	38,40	54,01	»	35,35	»	0,0738	
holm Martin. .	0,086	0,140	0,021	Id.	0,015	14,00	32,80	65,97	»	33,50	»	0,0645	
Id.	0,101	0,230	0,042	Id.	0,011	14,50	36,70	56,34	»	32,50	»	0,0660	
Martin. . . .	0,273	0,170	0,028	Id,	0,030	20,60	39,30	55,95	»	30,70	»	0,0933	
Id.	0,137	0,220	0,018	Id.	0,034	16,80	38,20	57,46	»	34,10	»	0,0744	
n° 7.	»	0,100	»	»	»	»	44,00	»	»	31,50	»	»	
de n° 6.	»	0,265	»	»	»	»	52,00	»	»	22,50	»	»	
rg n° 5.	»	0,500	»	»	»	»	64,00	»	»	15,00	»	»	
rt) n° 4.	»	0,750	»	»	»	»	80,00	»	»	7,50	»	»	
s. n° 3.	»	1,000	»	»	»	»	96,00	»	»	5,00	»	»	

ESSAIS A LA TRACTION (suite).

NATURE et provenance des aciers.			ANALYSES. Mn	C	Si	S	Ph	ESSAIS A LA TRACT[ION] L	R	C	a_1	a	
			Rapportés à 100.										
Terre-Noire, — Métal recuit.	Martin, aciers carburés.	59	0,213	0,150	Traces à peine sensibles.	Traces à peine sensibles.	0,035	19,37	35,45	66,58	»	31,30	[illegible]
		66	0,200	0,490			0,070	25,42	48,77	39,89	»	22,32	[illegible]
		70	0,266	0,809			0,062	32,47	66,15	17,77	»	11,27	[illegible]
		74	0,266	0,875			0,055	33,76	70,32	8,03	»	5,23	[illegible]
		82	0,266	1,000			0,063	39,35	86,05	8,85	»	5,59	[illegible]
	Martin, aciers manganésés.	26	0,521	0,450	Si = 0,003	Traces	0,067	27,65	53,14	42,47	»	22,06	[illegible]
		33	1,060	0,467			0,072	33,77	64,02	40,81	»	17,97	[illegible]
		30	1,305	0,515			0,061	42,28	79,72	31,40	»	13,60	[illegible]
		21	2,008	0,560			0,058	44,76	83,89	25,33	»	10,91	[illegible]
		17	2,468	0,599			0,072	»	»	»	»	»	[illegible]
	Martin, aciers phosphoreux	41	0,746	0,310	Traces à peine sensibles.	Traces à peine sensibles.	0,247	34,37	56,66	47,58	»	22,66	[illegible]
		35	0,800	0,274			0,273	35,24	56,32	44,92	»	21,55	[illegible]
		45	0,693	0,310			0,398	39,23	62,01	46,70	»	22,25	[illegible]
	Martin, aciers coulés sans soufflures.	140	0,693	0,287	0,233	Traces à peine sensibles.	0,076	25,35	48,90	28,65	»	21,40	[illegible]
		144	0,670	0,459	0,221		0,078	29,40	55,75	15,60	»	14,50	[illegible]
		148	0,672	0,807	0,163		0,097	36,05	73,25	10,35	»	9,40	[illegible]
		152	0,772	0,875	0,322		0,085	43,70	79,50	2,47	»	2,30	[illegible]
		278	0,750 Cr 0,750	0,450	»		»	38,30	87,20	»	»	»	[illegible]
Aciers de Neuberg et Heft non recuits.		7	»	0,100	»	»	»	»	41,60	»	»	28,00	»
		6	»	0,530	»	»	»	»	49,20	»	»	22,50	»
		5	»	0,720	»	»	»	»	61,50	»	»	16,00	»
		4	»	0,850	»	»	»	»	76,20	»	»	6,00	»
		3	»	1,150	»	»	»	»	92,30	»	»	3,00	»

ESSAIS A LA TRACTION (suite).

; ance rs.		ANALYSES rapportés à 100.					ESSAIS A LA TRACTION.							
		Mn	C	Si	S	Ph	L	R	C	a_1	a	a'	T	E
	7	»	0,114	»	»	»	23,02	46,20	48,45	24,90	27,70	35.40	»	»
	6	»	0,235	»	»	»	21,00	52,95	35,75	19,36	21,25	25,75	»	»
r. .	5	»	0,437	»	»	»	22,57	60,29	25,86	16,52	18,30	21,60	»	»
	4	»	0,702	»	»	»	22,97	61,06	24,08	17,68	19,60	23,30	»	»
	3	»	0,094	»	»	»	46,00	98,10	4,73	4,40	4,90	7,30	»	»
	7	»	0,109	»	»	»	19,21	41,20	56,02	29,00	32,20	42,50	»	»
	6	»	0,304	»	»	»	19,62	45,70	48,07	27,48	30,50	39,70	»	»
l. . .	5	»	0,562	»	»	»	17;72	52,13	36,35	23,31	25.80	32,40	»	»
	4	»	0,808	»	»	»	20,48	62,02	29,65	18,02	20,00	24,00	»	»
	3	»	0,934	»	»	»	29,56	75,01	3,32	1,82	2,02	2,40	»	»
	7	»	0,111	»	»	»	21,11	43,70	52,23	26,95	30,00	39,00	»	»
	6	»	0,269	»	»	»	20.31	49,32	41.91	23,42	26,00	32,75	»	»
nnes.	5	»	0,499	»	»	»	20.14	56,21	31,10	19,91	22,10	27,00	»	»
	4	»	0,755	»	»	»	21,72	61,54	26,84	17,85	19,80	23,75	»	»
	3	»	0,914	»	»	»	37,78	86,50	4,02	3,11	3,45	4,60	»	»
d'acier. . .		0,245	0,200	0,020	0,030	0,081	21,50	44,60	53,07	»	35,80	»	0,0958	»
Martin pour andières. . .		0,200	0,150	»	»	»	20,10	42,00	56,00	»	27,25	»	»	»
é marine. . .		0,280	0,180	»	»	»	22,05	44,68	55,10	»	23,05	»	»	»
n.		0,300	0,170	»	»	»	21,80	45,10	53,50	»	22,60	»	»	»
nières.		0,450	0,200	»	»	»	23,60	47,37	49,15	»	22,67	»	»	»
nons de fusils.		0,350	0,300	»	»	»	25,00	49,00	50,20	»	»	28,00	»	»

NOTE SUR LES RÉCENTES EXPÉRIENCES

DE MM. A. FREIRE MARRECO ET D. P. MORISON

SUR

L'INFLAMMABILITÉ DES POUSSIÈRES CHARBONNEUSES

Par M. Louis DOMBRE.

M. Galloway, s'appuyant sur des expériences faites par lui et dont il a communiqué pour la première fois les résultats à la Société royale (*) au mois de mars 1876, estime que la présence du grisou est absolument indispensable pour rendre explosible un mélange d'air et de poussières charbonneuses.

D'après lui, il suffit d'environ 0,9 p. 100 en volume de ce gaz, c'est-à-dire d'une proportion bien inférieure à celle qui donnerait avec l'air seul un mélange explosif; mais, si faible que soit cette proportion, elle est nécessaire, et sans grisou des poussières charbonneuses en suspension dans l'air ne sauraient s'enflammer, ni au contact d'une lampe à feu nu, ni sous l'influence d'un coup de mine.

MM. A. Freire Marreco et D. P. Morison, trouvent M. Galloway trop absolu dans ses conclusions; *pour eux*, le mot *poussière* est un terme générique, et il y a lieu de spécifier quelles sont les poussières employées. Il y a poussières et poussières et celles du cannel coal, par exemple, ne ressemblent pas du tout à celles de l'anthracite. Il se peut très-bien que les poussières sur lesquelles M. Galloway a opéré (**), n'aient pas les qualités requises pour donner

---

(*) *On the influence of coal-dust in colliery explosions.* Mémoire publié dans les « *Proceedings of the Royal Society* » 1876, n° 168.

(**) Les poussières essayées par M. Galloway provenaient de la

lieu sans grisou à un mélange explosif, mais il se peut très-bien aussi qu'il n'en soit plus de même avec d'autres.

Telles sont les considérations qui ont poussé MM. A. Freire Marreco et D. P. Morison, à poursuivre les expériences de M. Galloway. Ils se sont livrés tout d'abord à quelques essais au laboratoire du collége avec le concours de M. Cochrane, l'ingénieur bien connu de Newcastle.

En plaçant les unes à la suite des autres un certain nombre de vieilles caisses d'emballage dans lesquelles se trouvaient des poussières charbonneuses, tenues en suspension dans un courant d'air produit par un ventilateur aspirant, ils ont cherché à réaliser les conditions d'un réseau de galeries souterraines, puis, en tirant des coups de pistolet dans cette enceinte, ils ont reproduit les effets d'un coup de mine. Les résultats comparatifs de ces premières expériences manquèrent un peu de netteté, comme c'était du reste à prévoir ; aussi les auteurs se décidèrent-ils à

---

houillère de Llwynipia (Glamorgan) dans le Pays de Galles ; elles présentaient la composition suivante :

	CARBONE	CENDRES	MATIÈRES volatiles.	TOTAL.
Charbon de générateurs.	85,295	6,490	8,215	100,000
Id. bitumineux.	82,570	3,480	13,950	100,000

MM. A. Freire Marreco et D. P. Morison n'ont pas donné la composition des poussières dont ils se sont servis dans leurs diverses expériences, ils n'ont fait qu'en indiquer la provenance, mais ce sont pour la plupart des houilles du Durham et du Northumberland, et voici des résultats d'analyse que nous trouvons dans une enquête officielle et qui représentent assez bien la composition moyenne des différentes variétés de houille de ce bassin :

Charbon pour foyer domestique. .	71,81	0,58	27,61	100,00
Charbon pour fabrication du gaz d'éclairage.	68,11	0,95	30,94	100,00
Charbon pour les générateurs (steam coal).	60,59	1,01	38,40	100,00
Charbon pour la fabrication du coke.	70,72	2,21	27,07	100,00

employer un mode d'expérimentation un peu moins rudimentaire, et ils eurent alors recours à un appareil d'explosion analogue à celui dont M. *Galloway* s'était servi un an auparavant.

Cet appareil (*fig.* 10, Pl. VI) se compose d'une boîte rectangulaire ABCD, en sapin, de $2^m,50$ environ de longueur, 1 mètre de large et $0^m,25$ de haut. A l'un de ses bouts elle vient se raccorder à un conduit rectangulaire EF également en bois, et ouvert à ses deux extrémités. L'une d'elles est mise en communication avec l'ouïe d'un ventilateur Guibal; l'autre reste libre et sert à l'entrée de l'air.

Une petite cloison (*brattice*), qui règne sur toute la hauteur de la boîte la divise en deux parties symétriques; elle se termine dans le conduit de tête par une porte E, servant de vanne régulatrice, et à l'autre bout elle s'arrête un peu avant d'arriver à la paroi de la boîte, de façon à laisser entre elle et cette paroi un passage au courant d'air; celui-ci peut alors contourner la cloison avant de se rendre au ventilateur, et sa vitesse est réglée par la vanne. Trois regards V_1, V_2, V_3 sont placés sur l'une des faces latérales de la boîte, et trois autres V_4, V_5, V_6 sur la face opposée en face des premiers. Sur les côtés de la cloison on a disposé de petits bois d'étais et de garnissage destinés à figurer une galerie de mine. Enfin sur les deux faces de cette cloison se trouve une graduation formée de petites lanières de papier blanc collées verticalement tous les $0^m,25$, et prolongées sur le sol de la boîte. La face de derrière de la boîte porte deux trous dans lesquels sont chevillés deux canons miniatures Z_1, Z_2.

On trouvera dans le Bulletin du « *Chesterfield Institute* », une relation détaillée des expériences faites avec cet appareil à la houillère de Elswick, aux environs de Newcastle.

Les auteurs commencèrent d'abord par une expérience *à blanc;* la boîte étant vide, le coup de canon ne produisit qu'un peu de fumée qui fut bien vite dissipée par le cou-

rant d'air; ils placèrent ensuite sur la paroi et sur le plancher de la boîte de la poussière de charbon préalablement séchée et tamisée; ils constatèrent alors que la flamme du coup s'allongeait davantage.

L'allongement de la flamme, son aspect, les effets produits sur la cloison et les étais, furent ainsi l'objet de seize observations successives. On fit varier les divers éléments de l'expérience, la nature du poussier, la vitesse de l'air (1m,80 à 2m,40 par seconde), la charge des canons, en maintenant toutefois cette charge en proportion avec l'échelle de la boîte (30 à 120 grains de poudre) et bourrant légèrement. On se servit, tantôt d'un canon, tantôt de l'autre, de manière à tirer dans les sens du courant d'air ou en sens contraire, etc.

Les observateurs remarquèrent, entre autres choses, que les effets de l'explosion étaient beaucoup plus intenses lorsque les deux coups étaient tirés presque simultanément, par exemple une seconde l'un après l'autre. Le second partant avant que la poussière soulevée par le premier ne soit retombée, les conditions des explosions de Fowler et de Campagnac se trouvaient ainsi à peu près réalisées.

L'appareil était par lui-même assez imparfait, et on ne tarda pas à en acquérir la certitude. La boîte se disloquait assez vite, les réparations étaient difficiles, la mise en train des expériences fort longue. Tout cela était d'autant plus fâcheux, qu'il était nécessaire d'opérer par des temps très-secs et dans des conditions hygrométriques assez rares sous le climat de Newcastle, pour qu'il y eût intérêt à se trouver toujours en mesure de profiter des occasions favorables.

C'est ce qui engagea MM. A. Freire Marreco et D. P. Morison, à modifier un peu leur appareil et à transporter le lieu de leurs expériences à la mine de Harton, près South-Shields (Durham). Les propriétaires de cette mine, qui s'intéressent vivement à la question, mirent à leur disposition

un local très-bien approprié et muni de tous les instrum
nécessaires : un véritable *laboratoire d'explosion*.

Le nouvel appareil représenté (*fig.* 11, Pl. VI) se co
pose d'une longue caisse rectangulaire en bois, divisée d
le sens de sa longueur en deux compartiments M et N p
une cloison P. La partie M a $3^m,60$ de long et la partie
$3^m,00$ seulement. La section de chacune d'elles est un ca
de $0^m,15$ de côté. Une des extrémités de la partie M vi
s'emboîter dans une conduite qui amène dans la boîte
courant d'air forcé dont la vitesse est réglée par
valve Q, et une des extrémités de la partie N reste ouve
pour laisser sortir cet air après qu'il a eu contourné
cloison médiane.

Deux canons x et y traversent, comme dans l'appa
d'Elswick, la face postérieure de la boîte, et figurent
mines disposées au front de taille du chantier. Ces can
sont fabriqués avec des morceaux de tuyau de conduite
gaz que l'on a fermés à un bout. L'allumage des coups
fait au moyen d'un exploseur électrique, ce qui per
de faire partir les pièces d'une manière commode et
des intervalles aussi rapprochés qu'on le désire. D
regards X_1, X_2, X_3 sont ménagés sur la face latérale extérieu
du compartiment M dans lequel se trouve placé le canon
et d'autres regards semblables $Y_1 Y_2 Y_3$ sont placés sur
face opposée du compartiment N correspondant au c
non Y.

Les résultats de ces expériences sont consignés et repr
sentés dans le tableau ci-contre, et sur le diagramme de l
Pl. VII, qui sont extraits du Bulletin du « *North of Engla*
Institute, mining and mechanical Engineers. » (187
vol. XXVIII, part. II.)

Dans le diagramme, la première ordonnée de chaque ac
colade numérotée représente la longueur de flamme produit
par le coup du canon X et observée par les regards X_1, X_2, X_3
du compartiment M dans lequel est placé ce canon. La

euses.

VATIONS ites sortie de *boîte*.	OBSERVATIONS.

uxième ordonnée représente la longueur de flamme pronite par le canon Y et observée par les regards Y_1, Y_2, Y_3 du ompartiment N. Le trait plein indique une flamme et le ointillé un faisceau d'étincelles.

Les auteurs ont fait avec l'appareil 45 expériences en ix séances dans le courant des mois de mai, juin et juillet 1878. Ils ont essayé successivement les différentes qualités le houilles très-riches en matières volatiles que produisent es divers gisements du nord de l'Angleterre et de l'Écosse: Welsh, Derbyshire, Yorkshire, Durham, Northumberland, etc.; ils ont essayé aussi quelques variétés de farine.

Pour eux, les phénomènes ainsi observés sur une petite échelle ont affecté, dans la plupart des cas, les caractères d'une explosion, et ils ne doutent pas que s'ils se fussent produits avec les mêmes éléments sur un plus grand théâtre, dans un chantier de mine, par exemple, ils n'eussent donné lieu à une *véritable explosion*.

Il suffit d'ailleurs de se rappeler les accidents qui sont survenus à plusieurs reprises dans des minoteries, notamment dans les grands moulins de l'Amérique du Nord, pour qu'on soit autorisé à conclure, par analogie, que certaines espèces de houille peuvent aussi donner de véritables explosions puisqu'elles se comportent dans l'appareil d'expérience de la même manière que la farine, en donnant lieu aux mêmes phénomènes et produisant des effets d'égale intensité.

En résumé, les expériences faites à Harton viennent fournir une preuve nouvelle à l'appui des opinions émises dans les enquêtes officielles sur les accidents de Fowler et de Campagnac, et permettent de rapporter aux mêmes causes ceux de la Béraudière, de la fosse du Chauffour d'Anzin, de la Péronnière et du puits Sainte-Marie du Montceau qui se sont produits dans des circonstances analogues.

MM. A. Freire Marreco et D. P. Morison ont l'intention de

poursuivre leurs expériences en exposant directement à la flamme d'une lampe à feu nu placée à l'intérieur de leur appareil, des poussières charbonneuses de différentes sortes.

D'ailleurs ils se sont déjà livrés à quelques expériences directes à ce sujet. En versant d'une hauteur de 3 mètres sur un jet de gaz fourni par un bec d'environ un demi-pouce de haut, un gallon (4^{lit},54) de poussière de houille, ils ont constaté des effets très-différents, selon la nature de la poussière employée. Ainsi, ils n'ont rien obtenu avec certaines poussières, celle de la veine Maudlin (Durham), par exemple, tandis qu'avec d'autres ils ont eu une explosion très-violente, des flammes rouges s'élevant verticalement sur une hauteur d'environ 4 mètres au milieu d'un nuage de fumée et d'étincelles, s'épanouissant autour du foyer sur un rayon de près de 3 mètres avec production d'une chaleur intense perceptible à plus de 6 mètres de ce foyer.

C'est évidemment à un ordre de faits de cette nature qu'il faut rattacher les deux accidents survenus au puits Montmartre des mines de Beaubrun, et qui ont été rapportés par M. Baretta. Néanmoins l'inflammation directe des poussières à la flamme d'une ou plusieurs lampes à feu nu réunies dans un même chantier paraît devoir être une cause d'accidents beaucoup moins à redouter que celle qui est due à l'inflammation de ces poussières sous l'action d'un coup de mine qui débourre.

Pour en revenir aux expériences qui ont fait l'objet de cette note, nous pensons qu'on peut être autorisé à en conclure :

1° Que le mélange gazeux engendré par un coup de mine peut, dans certains cas, mettre le feu à des poussières charbonneuses en suspension dans l'atmosphère du chantier où ce coup se trouvait placé et provoquer alors une *véritable explosion*.

2° Que la nature et la composition des poussières jouent

un *rôle capital* dans la manière dont cette explosion prend naissance et se propage.

Il est probable que l'inflammation de ces poussières sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus facile et d'autant plus étendue que la houille qui a produit ces poussières contiendra une plus grande quantité de matières volatiles.

Il faudra maintenant se demander si une pareille explosion restera toujours localisée, en embrassant une étendue plus ou moins grande autour du point où elle a pris naissance, ou bien si elle pourra, à la faveur de certaines circonstances, s'étendre dans toute la mine, et devenir ainsi la cause de catastrophes semblables à celles de Pellon, du puits Cinq-sols, de Llan, du puits Jabin et de Blantyre.

C'est là une question à laquelle les résultats d'une expérience, si ingénieusement combinée qu'elle soit, pourront difficilement répondre, et dont la solution sera, pour toujours peut-être, livrée aux inductions de la théorie.

Il paraît hors de doute aujourd'hui qu'en présence du grisou, même en faible quantité, l'explosion locale se propagera avec rapidité, et pourra prendre tout d'un coup des proportions alarmantes. Mais s'il n'y a pas de grisou dans le chantier où l'explosion prend naissance, et s'il n'y en a pas non plus dans les chantiers du voisinage, peut-on admettre que les gaz, provenant de la carbonisation plus ou moins complète des poussières (*), soient suffisants à eux seuls pour entretenir la combustion, la propager et lui permettre d'aller chercher de nouveaux aliments dans les quartiers éloignés de la mine?

(*) Après la terrible explosion du puits Jabin, on a recueilli sur les cadres de boisage des galeries de la mine des croûtes de coke dont l'épaisseur allait souvent à $0^m,03$. L'analyse de ces matières a montré que le charbon ainsi carbonisé avait perdu environ 25 p. 100 des matières volatiles qu'il contenait, soit environ 7 p. 100 en poids de ces poussières. Chaque kilogramme de poussière a donc dégagé 70 grammes de gaz inflammables!

Cette propagation se fera, en tout cas, d'autant mieux avec des poussières d'une composition élémentaire donnée, que l'atmosphère poussiéreuse sera elle-même plus dense, et surtout que l'élément comburant, c'est-à-dire l'air, arrivera en plus grande quantité.

Ceci nous amène tout naturellement à dire un mot d'une opinion partagée depuis longtemps par un certain nombre de personnes compétentes et qui s'est manifestée dans ces derniers temps par l'organe de M. Chansselle, l'éminent praticien qui dirige les travaux de la Société des houillères de Saint-Étienne.

M. Chansselle fait remarquer que les explosions, qui étaient autrefois toutes locales, tendent maintenant à devenir de plus en plus générales et à embrasser toute l'étendue de travaux cependant activement aérés. Il se demande si ce n'est pas justement à cette grande activité de l'aérage qu'il faut faire remonter la responsabilité d'un pareil état de choses.

Tout en partageant cette opinion dans une certaine mesure, nous ferons toutefois observer que ce ne sont pas, selon nous, les perfectionnements apportés aux moyens d'aérage qui constituent la cause primordiale de cette tendance des explosions à dégénérer en catastrophes, mais bien l'augmentation du tonnage des siéges d'extraction, la mise d'un plus grand nombre d'ouvriers sur un même front de taille et sur un même courant d'air, *la concentration*, en un mot, des travaux souterrains. On n'en est arrivé à l'emploi des grands volumes d'air que par suite de la nécessité où l'on s'est trouvé *d'aérer convenablement* des travaux ainsi concentrés.

Cette concentration, faite dans les limites permises par la richesse du gisement exploité, a réalisé un progrès économique qui s'impose aujourd'hui et contre lequel il serait oiseux de vouloir maintenant récriminer. Comme tous les progrès, celui-ci a amené avec lui des difficultés nouvelles: c'est à l'exploitant qu'il appartient de les surmonter.

En parlant de ce qu'il appelle *le paradoxe de M. Chansselle*, M. Galloway recommande l'emploi de l'eau pour abattre les poussières dans les chantiers où l'on fait usage de la poudre. « Pour l'avenir, dit-il, il faudra au vieux « cri : *De l'air, encore de l'air !* en joindre un nouveau, au- « quel il est heureusement facile de satisfaire, c'est : « *Encore plus d'eau !* » M. Galloway se méprend peut-être un peu sur la possibilité d'appliquer, dans la pratique, le remède qu'il propose. Si l'emploi de l'eau est pratiquement possible dans certaines mines anglaises, il n'en est plus de même pour la plupart de celles du continent, qui exploitent des veines plus inclinées et se trouvent dans des conditions de gisement toutes différentes.

Ne vaut-il pas mieux essayer de couper le mal à la racine en demandant à la mécanique un outil simple et maniable qui permette de supprimer le tirage à la poudre, dans les chantiers poussiéreux, pour l'abatage de la houille et le coupage du mur?

Quoi qu'il en soit, la question des poussières charbonneuses a pris aujourd'hui une importance qu'elle n'avait pas autrefois, et les expériences que nous venons de décrire et qui ont suivi de très-près celles de MM. Galloway, Hall et Clarck, Greenwell, etc., montrent bien tout l'intérêt que les exploitants anglais y attachent, en même temps qu'elles témoignent de leur désir d'y jeter quelque lumière.

Aniche, 25 février 1879.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA FRANCE.

PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, DES FERS, DES TÔLES ET DES ACIERS PENDANT L'ANNÉE 1878 (*).

I. COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

Tableau de la production par département.

DÉPARTEMENTS.	PRODUITS DES EXPLOITATIONS distingués en deux catégories. Houille et anthracite.	Lignite.	Totaux.	ANNÉE 1877.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Ain	»	870	870	75
Allier	900.114	»	900.114	897.1[illegible]
Alpes (Basses-)	»	44.696	44.696	46.[illegible]
Alpes (Hautes-)	7.420	»	7.420	7.[illegible]
Ardèche	15.033	1.084	16.117	16.[illegible]
Aude	»	355	355	[illegible]
Aveyron	687.322	4.513	691.835	699.4[illegible]
Bouches-du-Rhône	»	375.390	375.390	391.1[illegible]
Calvados	6.482	»	6.482	10.1[illegible]
Cantal	1.982	»	1.982	1.[illegible]
Corrèze	4.438	»	4.438	4.5[illegible]
Côte-d'Or	8.048	»	8.048	7.6[illegible]
Creuse	169.700	»	169.700	174.[illegible]
Dordogne	»	590	590	[illegible]
Drôme	»	360	360	343
Gard	1.784.280	17.339	1.801.619	1.660.[illegible]
Hérault	295.778	622	296.400	238.7[illegible]
Isère	96.450	1.850	98.300	99.3[illegible]
Landes	»	30	30	[illegible]
Loire	3.177.760	»	3.177.760	3.304.[illegible]
Loire (Haute-)	217.190	»	217.190	193.[illegible]
Loire-Inférieure	23.092	»	23.092	25.657
Lot	1.109	»	1.109	1.157
Maine-et-Loire	33.489	»	33.489	41.[illegible]
Mayenne	75.778	»	75.778	94.363
Nièvre	200.096	»	200.096	169.067
Nord	3.149.151	»	3.149.151	3.2[illegible]
Pas-de-Calais	3.829.639	»	3.829.639	3.435.0[illegible]
Puy-de-Dôme	186.668	»	186.668	206.2[illegible]
A reporter	14.871.019	447.699	15.318.718	15.015.198

(*) Ces tableaux sont tirés des états qui ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal officiel* (numéro du 20 mars 1879) et qui sont dressés à l'aide des *états* SEMESTRIELS fournis par les Ingénieurs des Mines. Tous les chiffres inscrits sur les tableaux, pour 1878, sont provisoires. Le dépouillement des *états* ANNUELS a permis d'y joindre la statistique *définitive* de la production des combustibles minéraux, en 1877, dont la statistique provisoire se trouve dans le tome Ier de 1878 (p. 537).

Tableau de la production par département (suite).

DÉPARTEMENTS.	PRODUITS DES EXPLOITATIONS distingués en deux catégories.			ANNÉE 1877.
	Houille et anthracite.	Lignite.	Totaux.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Report.	14.871.019	447.699	15.318.718	15.015.198
Pyrénées (Basses-).	190	»	190	204
Pyrénées (Hautes-). . . .	»	350	350	687
Pyrénées-Orientales. . . .	»	550	550	60
Rhône.	32.357	»	32.357	31.905
Saône (Haute-).	182.234	9.049	191.283	195.195
Saône-et-Loire.	1.141.512	»	1.141.512	1.164.863
Sarthe.	24.092	»	24.092	20.698
Savoie.	17.340	»	17.340	20.764
Savoie (Haute-).	»	4.127	4.127	4.781
Sèvres (Deux-).	24.258	»	24.258	22.939
Tarn.	291.620	»	291.620	281.500
Var.	8.996	5.700	14.696	11.015
Vaucluse.	»	8.135	8.135	10.791
Vendée.	25.380	»	25.380	21.996
Vosges.	»	1.955	1.955	1.933
Totaux.	16.618.998	477.565	17.096.563	16.804.529

Tableau de la production par bassin.

NOMS DES BASSINS.	NOMS des départements dans lesquels les bassins sont situés.	PRODUCTION.	ANNÉE 1877.
	I. — Houille et anthracite.		
		tonnes.	tonnes.
Valenciennes.	Nord. — Pas-de-Calais.	6.901.057	6.634.048
Loire.	Loire. — Rhône. . . .	3.172.109	3.297.755
Alais.	Ardèche. — Gard. . .	1.785.354	1.644.781
Creusot et Blanzy. . . .	Saône-et-Loire. . . .	983.794	1.000.888
Commentry.	Allier.	827.748	815.642
Aubin.	Aveyron.	675.748	683.185
Graissessac.	Hérault.	294.978	236.246
Carmaux.	Tarn.	291.620	281.500
Brassac.	Haute-Loire. — Puy-de-Dôme.	218.700	206.505
Decize.	Nièvre.	200.096	169.067
Ronchamp.	Haute-Saône.	182.234	185.656
Ahun.	Creuse.	167.086	171.710
Saint-Eloy.	Puy-de-Dôme.	145.732	161.967
Epinac.	Saône-et-Loire. . . .	134.826	139.320
Le Maine.	Mayenne. — Sarthe.	96.858	111.720
Le Drac.	Isère.	95.000	96.172
Hardinghem.	Pas-de-Calais.	77.733	87.651
Basse-Loire.	Loire-Inférieure. — Maine-et-Loire. . .	56.581	66.717
Vouvant et Chantonnay.	Deux-Sèvres. — Vendée.	49.638	44.935
Bert.	Allier.	38.015	38.477
Langeac.	Haute-Loire.	36.629	28.583
	A reporter.	16.431.536	16.102.525

Tableau de la production par bassin (suite).

NOMS DES BASSINS.	NOMS des départements dans lesquels les bassins sont situés.	PRODUCTION.	ANNÉE 1877.
		tonnes.	tonnes.
	Report.	16.431.536	16.102.525
Sainte-Foy-l'Argentière.	Rhône.	32.357	34.[illegible]
Buxière-la-Grue.	Allier.	31.615	43.[illegible]
Maurienne-Tarentaise et Briançon.	Hautes-Alpes. — Savoie.	24.700	[illegible]
La Chapelle-sous-Dun.	Saône-et-Loire.	22.892	24.[illegible]
Rodez.	Aveyron.	11.574	11.[illegible]
Autres bassins (20).	Ardèche. Calvados. Cantal. Corrèze. Côte-d'Or. Creuse. Dordogne. Gard. Hérault. Isère. Loire. Lot. Mayenne. Puy-de-Dôme. Basses-Pyrénées. Haute-Savoie. Var.	64.264	63.[illegible]
	Totaux pour les houilles.	16.618.998	16.305.[illegible]
	II. — Lignite.		
Aix.	Bouches-du-Rhône. — Var.	378.090	393.157
Manosque.	Basses-Alpes. — Vaucluse.	44.696	46.224
Bagnols.	Gard.	13.032	13.[illegible]
Autres bassins (20).	Ain. Ardèche. Aude. Aveyron. Dordogne. Drôme. Gard. Hérault. Isère. Landes. Hautes-Pyrénées. Pyrénées-Orientales. Haute-Saône. Haute-Savoie. Var. Vaucluse. Vosges.	41.747	46.341
	Totaux pour les lignites.	477.565	498.702
	Totaux généraux.	17.096.563	16.804.529

II. INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE.

Tableau de la production des fontes.

DÉPARTEMENTS.	FONTE au coke.	FONTE au bois.	FONTE mixte.	PRODUCTION totale.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier	83.312	»	»	83.312
Ardèche	82.207	»	»	82.207
Ardennes	14.408	1.079	»	15.487
Ariége	15.200	»	1.640	16.840
Aveyron	30.270	»	»	30.270
Bouches-du-Rhône	23.528	»	»	23.528
Charente	»	175	»	175
Cher	12.886	5.169	12.941	30.996
Corse	»	4.320	»	4.320
Côte-d'Or	1.180	»	»	1.180
Côtes-du-Nord	»	332	»	332
Dordogne	»	4.300	»	4.300
Doubs	»	521	»	521
Eure	3.189	»	»	3.189
Gard	98.267	»	»	98.267
Gironde	»	2.237	»	2.237
Ille-et-Vilaine	»	825	»	825
Indre	»	902	»	902
Isère	17.993	990	»	18.983
Jura	9.084	»	»	9.084
Landes	»	16.814	»	16.814
Loire	58.112	»	»	58.112
Loire-Inférieure	3.900	447	»	4.347
Lot-et-Garonne	13.800	320	»	14.120
Marne	1.820	»	»	1.820
Marne (Haute-)	36.635	12.865	28.414	77.914
Mayenne	»	»	1.461	1.461
Meurthe-et-Moselle	440.376	1.854	»	442.230
Meuse	9.263	1.871	1.501	12.635
Morbihan	»	900	»	900
Nord	181.108	»	»	181.108
Pas-de-Calais	32.798	»	»	32.798
Pyrénées-Orientales	»	10.388	»	10.388
Rhône	63.054	»	»	63.054
Saône (Haute-)	»	8.333	»	8.333
Saône-et-Loire	150.492	»	»	150.492
Sarthe	»	»	1.022	1.022
Tarn-et-Garonne	3.743	»	»	3.743
Totaux	1.386.625	74.642	46.979	1.508.246

Tableau de la production des fers.

DÉPARTEMENTS.	FER au combustible minéral. Rails.	FER au combustible minéral. Fers autres que les rails.	FER affiné et réchauffé au combustible végétal.	FER affiné et réchauffé à l'aide des deux combustibles.	PRODUCTION totale.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier	1.690	17.923	»	397	20.010
Ardennes	50	32.967	70	1.522	34.609
Ariége	»	8.886	400	»	9.286
Aube	»	6.200	»	1.645	7.845
Aveyron	22.526	8.580	»	»	31.106
Bouches-du-Rhône	»	1.214	»	»	1.214
Charente	»	»	145	»	145
Cher	»	1.996	270	1.046	3.312
Corse	»	»	270	»	270
Côte-d'Or	»	11.210	2.138	202	13.550
Côtes-du-Nord	»	2.227	»	»	2.227
Dordogne	»	»	2.480	1.735	4.215
Doubs	»	210	1.540	»	1.750
Finistère	»	782	»	»	782
Gard	1.394	19.497	»	»	20.891
Garonne (Haute-)	»	2.059	»	»	2.059
Gironde	»	»	850	»	850
Indre	»	»	427	»	427
Isère	»	6.980	140	294	7.414
Jura	311	10.064	»	»	10.375
Landes	»	»	1.006	1.969	2.975
Loir-et-Cher	»	133	110	»	243
Loire	277	49.647	»	»	49.924
Loire-Inférieure	»	5.000	»	»	5.000
Lot-et-Garonne	»	»	145	»	145
Marne (Haute-)	»	67.245	»	948	68.193
Meurthe-et-Moselle	»	22.867	»	395	23.262
Meuse	»	16.284	»	»	16.284
Nièvre	147	11.482	»	763	12.392
Nord	18.069	206.443	»	»	224.512
Oise	»	16.689	»	»	16.689
Orne	»	190	»	»	190
Pas-de-Calais	»	400	»	»	400
Pyrénées (Basses-)	»	»	381	»	381
Pyrénées-Orientales	»	»	533	»	533
Rhin (Haut-)	»	»	449	1.700	2.149
Saône (Haute-)	»	»	299	130	429
Saône-et-Loire	8.014	35.385	30	»	43.429
Sarthe	»	»	»	53	53
Savoie	»	181	108	»	289
Savoie (Haute-)	»	350	180	»	530
Seine	»	20.390	»	»	20.390
Seine-et-Oise	»	2.558	»	»	2.558
Somme	»	1.560	»	»	1.560
Tarn	»	740	»	»	740
Tarn-et-Garonne	»	2.661	201	»	2.862
Vienne	»	»	94	»	94
Vienne (Haute-)	»	»	1.170	»	1.170
Vosges	»	»	1.318	»	1.318
Yonne	»	10.890	»	24	10.914
Totaux	52.478	601.890	14.484	12.823	681.675

Tableau de la production des tôles de fer.

DÉPARTEMENTS.	TOLE fabriquée avec du fer			PRODUCTION totale.
	au coke.	au bois.	mixte.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Aisne.	720	»	»	720
Allier.	8.735	»	»	8.735
Ardennes.	12.460	3.838	1.698	17.996
Aveyron.	2.368	»	»	2.368
Côte-d'Or.	400	»	»	400
Doubs.	461	603	»	1.064
Isère.	1.079	»	»	1.079
Jura.	6.230	175	1.460	7.865
Loire.	11.875	»	»	11.875
Marne (Haute-).	5.412	100	»	5.512
Meurthe-et-Moselle.	5.769	»	»	5.769
Meuse.	300	60	130	490
Morbihan.	1.500	2.750	»	4.250
Nièvre.	»	»	858	858
Nord.	24.970	»	»	24.970
Oise.	6.500	1.482	3.913	11.895
Saône (Haute-).	»	677	»	677
Saône-et-Loire.	11.415	762	3.354	15.531
Savoie (Haute-).	350	90	»	440
Vosges.	»	1.172	»	1.172
Totaux.	100.544	11.709	11.413	123.666

Tableau de la production des aciers.

DÉPARTEMENTS.	ACIER FONDU au foyer Bessemer ou au réverbère (Siemens, Martin, etc.)		ACIER puddlé ou de forge.	ACIER cémenté.	ACIER fondu au creuset.	TOLE d'acier.
	Rails.	Aciers divers.				
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier.	20.500	1.725	65	»	»	34
Ardennes.	»	»	»	25	55	12
Ariége.	»	»	1.774	»	»	»
Aveyron.	9.285	»	»	»	»	»
Charente.	»	600	»	»	40	»
Côtes-du-Nord.	»	»	18	7	6	»
Finistère.	»	»	»	»	5	»
Gard.	37.082	359	»	»	»	»
Garonne (Haute-).	»	»	»	171	»	»
Isère.	960	680	3.210	120	130	»
Loire.	69.485	14.811	6.536	1.281	6.353	5.250
Meurthe-et-Moselle.	»	»	1.142	»	»	»
Meuse.	»	»	»	»	»	60
Nièvre.	9.920	1.554	156	»	506	386
Nord.	34.632	342	»	»	»	432
Saône-et-Loire.	41.650	12.759	»	»	»	4.566
Seine.	»	»	»	»	205	»
Tarn.	»	»	»	86	352	»
Totaux.	223.514	32.830	12.901	1.690	7.652	10.740

PERCEMENT DES ALPES.

ÉTUDE COMPARATIVE DES TRAVAUX EXÉCUTÉS AUX TUNNELS DU MONT CENIS ET DU SAINT-GOTHARD.

Par M. REVAUX, ancien élève externe de l'École des mines.

Cette étude se divisera en huit parties : 1° Études géologiques; 2° Opérations géodésiques; 3° Lignes d'accès; 4° Marche du travail; 5° Extraction des déblais; 6° Ventilation; 7° Perforation mécanique; 8° Compresseurs d'air.

§ 1. Études géologiques.

MASSIF DU MONT CENIS.

La *fig.* 1, Pl. VIII, représente, à l'échelle de $\frac{1}{200.000}$, la coupe géologique du mont Cenis, passant par l'axe du tunnel. Le tableau ci-dessous indique la nature des terrains traversés.

Données géologiques.

ÉTAGES des terrains.	SIGNES conventionnels.	DÉSIGNATION des terrains.	DIRECTION et inclinaison des couches.	[illegible]
Dépôts postérieurs aux dernières dislocations du sol.	d	Alluvions, déjections de torrents et dépôts glaciers.	Pas de stratification.	[illegible] de la [illegible] vion à l'[illegible] du tunnel [illegible]
	t_3	Schistes calcaréo-talqueux.	Intérieur du tunnel : inclinaison N.-O. à O.; angle variable 5 à 10°. Ext. : même inclinaison; angle 25 à 35°.	
Trias?	t_2	Calcaires compactes, cargneules, gypses, dolomies.	Indéterminé.	Gypse profon[illegible] à la [illegible] anh[illegible] en prof[illegible]

Données géologiques (suite).

ÉTAGES des terrains.	SIGNES conventionnels.	DÉSIGNATION des terrains.	DIRECTION et inclinaison des couches.	OBSERVATIONS.
	t_1	Quartzites.	Intérieur : inclin. N.-O.; angle 50°. Ext. : inclin. 75 à 90°.	Quartzites compactes.
...arbonifère.	*h*	Grès à anthracite.	Int. : incl. varie N.-O. à O.; angle 50 à 80°. Ext. : inclin. N.-O. à S.-O.; angle 50 à 90°.	Schistes et grès houiller avec veines d'anthracite.
...ins primitifs.	*γ*	Gneiss.	Pas de stratification.	

La puissance des couches traversées n'a pas été la même en profondeur qu'aux affleurements, ainsi que le montre le tableau ci-dessous.

DÉSIGNATION DES COUCHES.	PROFIL extérieur.	PROFIL intérieur.
Terrain anthraxifère	1.772	2.096
Quartzites	537	388
Calcaire, gypse, dolomies	302	355
Schistes calcaires	9.605	9.379

Il ne paraît pas que l'on soit fixé sur l'âge à attribuer aux diverses formations ; mais un fait qui semble hors de doute, c'est que la stratification a subi un renversement complet, de sorte que les couches qui se présentent actuellement comme supérieures étaient des couches inférieures à l'époque de la formation.

On s'accorde à admettre la division suivante en trois groupes, donnée par M. Sismonda :

1er étage : sables micacés, grès à anthracite, schistes, quartzites.
2e étage : calcaire avec gypse et dolomie.
3e étage : calcaire schisteux et schistes talqueux.

Le premier de ces étages, d'après Sismonda, représenterait les argiles oxfordiennes, le second l'oolithe, et le troisième le lias. MM. Favre et Lory pensent que les deux

premiers étages sont antérieurs au lias, et rattachent le deuxième au trias et le premier au terrain carbonifère, dont il contient tous les fossiles. La présence, au milieu des terrains qu'ils rattachent au trias, de débris calcaires avec fossiles liasiques serait due, selon eux, à un repli de la couche, dont la partie courbe aurait été détruite sous l'action persistante des agents atmosphériques. Élie de Beaumont range ces trois étages, d'après l'inspection des fossiles dans le lias.

Il résulte de cette hypothèse que tout le grand système de schistes talqueux, de talcschistes et micaschistes qui constitue le massif du mont Cenis, et une grande partie des montagnes de la frontière du Piémont, appartient au groupe liasique. En effet, à Modane et dans beaucoup d'autres endroits, on voit ces roches reposer sur des assises calcaires qui sont elles-mêmes très-élevées dans la série des roches anthraxifères, d'où l'on doit conclure que, malgré leur composition cristalline, elles sont de beaucoup supérieures à d'autres d'une nature certainement sédimentaire et qu'elles ont subi des actions énergiques de métamorphisme (*).

Le tableau suivant donne une idée des variations qu'éprouvent les schistes calcaires formant la masse principale à perforer :

De Bardonnèche :

à 500 mèt.	Calcaire grenu, d'une teinte grise uniforme, dur, avec clivage semblable à celui de l'orthose.
1.490 —	Calcaire noir, dur, à structure lamelleuse.
1.700 —	Calcaire coloré en vert par des oxydes et présentant l'aspect de l'euphotide.
1.878-1.916	Calcaire très-dur.
2.140 —	Calcaire très-dur, brun, avec veines de calcaire grenu blanc.
2.500 —	Calcaire schisteux, noir, avec paillettes de graphite.

(*) Coquand, *Traité des roches*.

00 mèt. Le même avec la structure tabulaire.
92 — Calcaire schisteux, moins compacte que le précédent.
00 — Calcaire noir, grenu, dur, semblable à un granite.
592 — Calcaire très-noir, brillant comme l'hornblende, peu dur.
888 — Calcaire noir mélangé à du graphite et à l'albite.
800 — Calcaire blanc cristallin.
878 — Calcaire noir, peu dur, avec feuillets intercalés de calcaire blanc très-dur.

MASSIF DU SAINT-GOTHARD.

Le profil géologique (*fig.* 2, Pl. VIII) diffère de celui du unnel actuel en ce qu'il dévie la tête du côté d'Airolo de 5 mètres vers l'ouest, et que les altitudes des embouchures ont 1.110 mètres à Gœschenen et 1.155 à Airolo, au lieu e 1.109 et 1.145 qu'elles sont en réalité. La puissance robable des formations que traversera la galerie sera, en llant du nord au sud :

FORMATIONS.	PUISSANCE PROBABLE d'après	
	Giordano.	De Fritsch.
	mètres.	mètres.
Gneiss granitique plus ou moins homogène.	2.200	2.200
Gneiss schisteux, avec schistosité presque verticale.	350	450
Calcaire cristallin micacé, marbre gris.	130	350
Schistes chloriteux micacés passant au gneiss.	870	1.300
Gneiss riche en mica, avec zones d'amphibole.	6.310	6.600
Gneiss schisteux avec filons et rognons de quartz.	1.680	»
Micaschiste plus ou moins amphibolique.	2.910	»
Micaschiste passant au gneiss avec grenat.	620	»
Micaschiste plus ou moins amphibolique.	»	1.600
Gneiss plus ou moins schisteux.	»	270
Micaschiste riche en grenat.	»	800
Schistes amphiboliques et pierre ollaire, subordonnés en un grand nombre de couches aux trois dernières formations.	»	1.250
Cargneules, dolomie, gypse, anhydrite.	»	100
	15.070	14.920

De l'étude de ce tableau et de l'examen des profils il ésulte que la masse principale de la chaîne à traverser se ompose de gneiss riche en mica, passant au micaschiste t alternant avec du gneiss pur et des schistes amphibo-

liques. Cette masse principale est formée de couches cristallines qui se relèvent en forme d'éventail, de manière que, dans la partie nord de cet éventail, les couches plongent au sud, tandis que celles de la partie sud plongent au nord, et que les couches de la partie centrale se rapprochent de plus en plus de la verticale. La protogine n'apparaît pas dans la masse à travers laquelle s'opère le percement.

Du côté de Gœschenen, le massif gneissique et amphibolique du Saint-Gothard est recoupé par un rameau de gneiss granitique, dit rameau du Finsteraarhorn, et, entre ces deux masses cristallines, se trouve intercalée une zone de calcaire cristallin qui s'étend depuis le Valais jusqu'à la vallée du Rhin et qui est accompagnée de cargneules et de dolomies.

Voici maintenant quelques remarques sur la nature et les caractères des roches rencontrées pendant la perforation.

Côté nord, de Gœschenen :

à 20 mèt. Gneiss granitique, très-dur, avec fissures verticales et horizontales, ne laissant échapper que très-peu d'eau.

à 167 — Dans le même gneiss granitique sont intercalées des bandes successives de schistes micacés talqueux, chacune d'une puissance de 7 mètres environ.

à 1.100 — Le gneiss granitique est remplacé par du gneiss gris avec intercalations d'eurite. Ce gneiss contient encore quelques couches du gneiss granitique qui a dominé jusque-là, mais celui-ci est désagrégé et renferme, dans les fissures horizontales, de petites poches de cristaux. La roche devient moins dure et son humidité augmente. On constata aussi qu'à ce moment la température s'abaissa légèrement au front de taille, et comme à cette profondeur la température extérieure ne fait plus sentir son action, la baisse ne s'explique que par ce fait que la galerie, après avoir passé sous la crête des Schœllenen, se trouve plus rapprochée de la surface du sol.

à 2.000 mèt. Transition entre les roches du Finsteraarhorn, d'une part, et les gneiss feuilletés, riches en mica, et schistes chloriteux de la vallée d'Urseren, de l'autre. Cette transition se fait par un gneiss riche en mica avec nombreuses intercalations de quartz et d'eurite.

à 2.200 — Nouvelles couches de gneiss du Finsteraarhorn et de gneiss granitique atteignant jusqu'a 6 mètres de puissance et considérées comme des ramifications de ce massif.

La direction des bancs de gneiss du Finsteraarhorn est en moyenne N.64°E. et l'inclinaison 88°S.-E.

à 2.500 — Le gneiss gris est en décomposition argileuse; il correspond à la surface du sol aux couches aquifères que l'on rencontre entre le trou d'Uri et d'Altkirche.

à 2.800 — La galerie de direction traverse les couches calcaires d'Andermatt et atteint un terrain très-compressible et très-désagrégé, formé de gneiss d'Urseren en décomposition. Un peu plus loin, on rencontre des micaschistes avec de nombreux cristaux d'orthose; on trouve aussi des bandes irrégulières de quartz gras, mêlé à du fer oligiste, aux environs desquelles la roche est en décomposition argileuse et limitée par des fissures horizontales.

à 3.200 — Apparaissent des bandes et lentilles de calcaire cristallin, marquant la transition aux couches suivantes, formées de micaschistes argileux.

à 4.000 — On trouve le gneiss d'Urseren; ce gneiss est formé de feuilles de quartz avec mica gris argenté et paillettes isolées de mica brun, tenant de petits cristaux d'orthose, des grains de quartz vitreux, de la pyrite ordinaire et magnétique, et des bandes de calcaire cristallin. Si la proportion de quartz augmente, celui-ci prend une teinte verdâtre due à la présence d'une certaine quantité de chlorite.

On a constaté que, en même temps que le mica devient prédominant, la chlorite le devient aussi, et le gneiss d'Urseren passe à un schiste chloriteux. Le gneiss d'Urseren renferme aussi des intercala-

tions de quartz gras, qui suivent la direction générale de la schistosité et sont enveloppées de mica en grandes lames, la roche est alors en décomposition argileuse.

La direction moyenne de la schistosité est N.57° E. et l'inclinaison 76° S.-E.

Côté sud, d'Airolo :

à la tête.	La galerie de direction traverse du gravier, du sable et des pierres roulées, puis du gypse et un filon d'anhydrite.
à 85 mèt.	Traversée d'une couche de 4 mètres dont les infiltrations considérables entraînent dans la galerie des débris composés de micaschistes et blocs de quartz.
à 196 —	Micaschiste talqueux renfermant de l'amphibole et des grenats disséminés.
à 900 —	Quartzite mêlé de micaschiste amphibolique.
à 1.800 —	Les roches présentent les variétés suivantes :
	Micaschiste rayé, riche en quartz, avec mica gris d'argent, quelquefois teinté en rouge ou brun;
	Micaschiste chloriteux, gris vert, riche en quartz avec mica brun;
	Micaschiste chloriteux amphibolique;
	Micaschiste quartzeux;
	Micaschiste quartzeux avec du mica satiné blanc;
	Micaschiste amphibolique, quartzeux, avec mica;
	Micaschiste amphibolique grenatifère, avec mica blanc, gris vert, ou noir.
	Dans toutes ces variétés de roches, on a trouvé de la pyrite.
	La direction moyenne de la schistosité est N.37° E. et l'inclinaison 67° N.-O.
à 3.000 —	La galerie de direction traverse des couches de nature très-variée, et que l'on retrouve à l'extérieur dans la gorge de la Trémola. Les couches, dérangées et contournées en tous sens, présentent quelquefois des lentilles plates qui s'enchâssent les unes dans les autres.
	La roche, rayée et rubanée, contient : 1° de l'amphibole, qui, tout en conservant sa forme habi-

tuelle extérieure, est transformée sur quelques points en mica noir et chlorite; 2° du quartz et mica rare.

à 3.280 mèt. Roche amphibolique très-compacte, avec bandes minces et nombreuses de quartzites schisteux blancs. On entre dans le gneiss micacé qui forme commencement du gneiss du Gothard. A cette limite entre les gneiss et les micaschistes, les fissures sont nombreuses et dirigées N.-E. ou N.-O et inclinées au N.

à 3.600 — On trouve une sorte de micaschiste dans lequel on ne rencontre ni amphibole ni grenats, mais qui contient des feuillets de quartz séparés par du mica, tantôt brun noir, tantôt gris argenté; on trouve aussi du quartz coloré en rouge ou en gris, et, dans le voisinage des joints de couches humides, les surfaces de schistosité sont tapissées de feuillets de chlorite.

La direction moyenne de la schistosité est N. 56° à 62° E. et l'inclinaison 64° à 72° N.-E.

Analyse d'un échantillon minéralogique des schistes talqueux du Saint-Gothard, par Schafhautl.

Silice	50,20
Alumine	35,90
Oxyde de fer	2,34
Potasse et soude	8,45
Eau	2,45
	99,34

La venue d'eau a été considérable du côté d'Airolo.

DISTANCE à la tête.	DÉBIT TOTAL en litres par seconde.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
mètres.	litres.	degrés.	
85	30	»	Roche dolomitique.
101	75	»	Deux fontaines ont tari. — Micaschiste
196	195	»	Micaschiste très fissuré.
1.092	234	13	
1.719	195	18	Roche en décomposition argileuse.
1.972	280	19	
2.288	334	21	Maximum du débit.
2.714	245	24	A 2.800 mètres, une fissure donne lieu à une venue d'eau de 14 *litres* par seconde, coulant du ciel de la galerie, des parois et du sol.
2.900	238	24	
2.960	238	11	Le minimum de température correspond aux mois d'avril, mai, juin.
3.200	238	11	
3.600	209	»	Les eaux sont chargées d'hydrogène sulfuré probablement à cause du voisinage de poches de pyrite.
3.800	183	»	

On voit, par ce tableau, que le débit de l'eau va en diminuant : on est donc porté à croire que les masses d'eau accumulées à l'intérieur de la montagne se sont écoulées peu à peu, et qu'à l'avenir l'importance des venues d'eau ne dépendra plus que de la quantité d'eau tombée à l'extérieur et de la nature et la superficie du bassin d'alimentation.

Tandis que le maximum de débit à Airolo atteignait le chiffre énorme de 334 litres par seconde, il ne dépassait pas 34 *litres* à Gœschenen, à une température moyenne de 18 degrés.

La température de l'air au front de taille a subi les variations suivantes :

		Température au front de taille.	Température extérieure.
Juillet	1874. . . .	15°	22°
Septembre	—	15	15
Janvier	1876. . . .	22	0,3
Mars	—	22	6
Avril	—	23	9
Juin	—	23	27

On voit par là que la température augmente à mesure que la galerie d'avancement progresse et que l'air extérieur

n'exerce plus aucune influence. Si la température de juillet et de septembre 1874 a été la même au front de taille, cela provient des infiltrations qui se sont produites dans le second mois.

Enfin, le tableau ci-dessous donne la moyenne générale de la température de l'air dans le tunnel, de 192 à 3.562 mètres de l'embouchure :

AU FRONT de taille. Moyenne générale.	DANS LES CHANTIERS intermédiaires.		TUNNEL évacué par les ouvriers et complétement aéré.	DIFFÉRENCE.
	Pendant le forage mécanique.	Pendant le déblayage, la charge et le travail à la main.		
20°,02	»	»	»	1°,17
»	20°,18	»	18°,85	1°,23
»	»	21°,71	»	2°,86

§ 2. Opérations géodésiques.

TUNNEL DU MONT CENIS.

En partant de la crête du Grand-Vallon (*fig.* 1, Pl. VIII), située à peu près à égale distance des deux embouchures, on trouve, sur le versant méridional, les points remarquables suivants : Q au torrent de la Merdovine, S à Banda, U à Beauvoir ; ce dernier point est dans une position telle que la ligne de visée Grand-Vallon-Beauvoir coïncide avec celle Grand-Vallon-Banda. Le versant septentrional présente un contre-fort qui prend naissance au voisinage même de l'observatoire du Grand-Vallon et qui arrête les rayons lumineux partant de ce dernier point. On a dû choisir sur ce contre-fort trois points M, I, F, Vallonet, La Rionda, Lachalle. De Lachalle jusqu'au fond de la vallée, il n'y a qu'un point remarquable E, au torrent du Grand-

Vallon. Traversant ensuite la vallée de l'Arc et remont le versant sud de celle-ci, on trouve l'observatoire d'e bouchure B et le signal A de Pierre-Blanche. Pour avoir point duquel on puisse viser l'observatoire principal, il nécessaire de s'élever à une grande hauteur, parce que contre-fort, dont il a été question, est hérissé de pics qui diffèrent guère de hauteur avec celui du Grand-Vallon, qui a forcé à établir le point extrême de l'alignement a Sapins, à une grande distance de l'embouchure nord et une hauteur considérable.

La disposition des lieux ne permettant pas d'opérer dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire de manière que les deux points extrêmes de l'alignement fussent visibles l'un à l'autre, on a dû choisir une station intermédiaire au point culminant de la chaîne, au Grand-Vallon. L'erreur ainsi commise ne pouvait être que celle provenant de la demi-révolution de la lunette du théodolite autour de son axe vertical, et, comme le vernier permet de lire les angles à 10″ près, la déviation maximum qui pouvait résulter de cette opération n'était que de $0^m,29$, c'est-à-dire que le Grand-Vallon, au lieu de se trouver sur la ligne droite reliant les Sapins à Beauvoir, pouvait être le point de rencontre des deux lignes de visée les Sapins-Grand-Vallon et Grand-Vallon-Beauvoir, faisant entre elles un angle de 10″ (*).

Les trois points les Sapins, Grand-Vallon et Beauvoir une fois déterminés, les autres s'en déduisaient sans difficulté.

Pour déterminer l'entrée sud, on commença par viser U, ce qui permit de fixer la position de S, U étant dans le prolongement du rayon visuel mené par S; puis, portant l'instrument en S, on visa U, ce qui permit de fixer l'observatoire T et de là l'entrée sud. Le seul point que puisse viser

(*) *Tracciamento della linea del Traforo delle Alpi Cozie.*

l'observatoire T est le point S, ce qui est une condition fâcheuse, ces deux points n'étant distants que de 800 mètres.

Les difficultés furent plus grandes sur le versant nord : il fallait, en visant les Sapins, de l'observatoire du Grand-Vallon, déterminer d'abord le Vallonet M; puis, transportant l'instrument en ce point et visant toujours les Sapins, déterminer la Riouda I et Pierre-Blanche A; de là, portant l'instrument en I et visant successivement les Sapins et A, déterminer Lachalle F; et enfin, installant l'instrument en ce dernier point, viser les Sapins et A, et fixer la position de l'observatoire nord et de là l'entrée. Le point le plus intéressant est le point F; c'est le dernier qu'on puisse apercevoir de l'observatoire, et c'est lui, par conséquent, qui sert dans la vérification de l'alignement de la galerie.

On a pris (*fig.* 3, Pl. VIII) pour base du réseau trigonométrique destiné à mesurer la longueur de la galerie, le côté Grand-Vallon et Jaffereau $= 8.693^{m},58$. Ce réseau peut être considéré comme partagé en deux systèmes bien distincts de triangles : le premier système comprend la base et les triangles qui s'étendent jusqu'à la moitié de la longueur du tunnel; le second comprend les triangles de la partie opposée, ces deux systèmes étant reliés entre eux par un côté commun.

PREMIER SYSTÈME.

Au moyen des triangles
1, 2, 3,
4, 3, 2,
on obtient la longueur du côté
3 — 2.

Au moyen des triangles
3, 2, 5,
3, 5, 6,
on obtient la longueur du côté
5 — 6, (1)

Au moyen des triangles
3, 7, 6,
8, 7, 6,
8, 9, 6,
on obtient la longueur du côté
9 — 6. (2)

Retranchant (2) de (1), il reste
5 — 9. (3)

La distance,
Observatoire sud. — Entrée sud, (4)
qui est mesurée directement, étant retranchée de (3) donne la longueur cherchée
Entrée sud. — Observatoire du grand vallon. (5)

La détermination du côté qui relie les deux systèmes de triangles se fait ainsi :

1° Au moyen des triangles :
3, 2, 10,

on détermine le côté

3 — 10. (6)

2° Au moyen du triangle

3, 10, 11,

on obtient le côté cherché

10 — 11. (7)

Deux vérifications peuvent se faire :

La première par la série des triangles

12, 3, 2,
12, 2, 10,
12, 11, 10

qui donnent

10 — 11. (7)

La deuxième par les triangles

2, 13, 10,
13, 11, 10,

qui donent

10 — 11. (7)

DEUXIÈME SYSTÈME.

Au moyen des triangles

11, 10, 14.
11, 14, 15.
14, 5, 15,

on obtient la longueur du côté

5 — 15. (8)

La vérification se fait au moyen des triangles

11, 14, 16,
14, 16, 5.
16. 5, 15,

qui donnent

5 — 15. (8)

Au moyen des triangles

16, 15, 17,
17, 18, 15,
18, 15, 19,

on obtient

15 — 19. (9)

Retranchant (9) de (8), il reste

Observatoire. — Entrée nord (10)

Ajoutant (5) et (10), on obtient pour longueur totale 12.220 mètres.

		mètres.
La cote d'entrée à Fourneaux et de. .		1.202,82
id.	à Bardonnèche. . . .	1.335,38

La différence du niveau a été rachetée comme suit :

	mètres.
Cote d'entrée à Bardonnèche.	1.335,38
Pente 0m,0005 par mètre du point le plus élevé à la fausse tête sur 6.110 mèt.	3,055
	1.338,435
Côte d'entrée à Fourneaux.	1.202,82
Rampe de 0m,0222 par mètre de la fausse tête au point culminant sur 6.110 mèt.	135,642
	1.338,462

Pour raccorder le tunnel avec la voie ferrée *qui suit le* flanc de la montagne, on a été obligé de construire les deux têtes en courbe ; ce travail n'a été fait qu'après coup, car il fallait, avant tout, installer deux fausses têtes dans la direction de l'alignement.

J'ajoute enfin que l'axe du tunnel fait un angle de 19° ec le méridien, et que la plus grande épaisseur de roches i recouvrent la galerie est de 1.617 mètres.

Pour vérifier l'alignement du tunnel, à l'embouchure ord par exemple, on dirige d'abord la lunette vers le si- nal F, puis, en l'inclinant convenablement, on arrive à xer un point dans la galerie. Ce point de mire est un fil plomb éclairé par une lampe, et fixé au ciel de la galerie u moyen d'un rectangle en fer, sur un des côtés duquel ont pratiquées des entailles très-voisines, de façon à ouvoir faire passer le fil de l'une dans l'autre, suivant les ignaux de l'observateur.

Pour transmettre ces signaux, on se sert généralement d'un appareil télégraphique Bréguet, les fils sont fixés le long des maçonneries et suivent les progrès de celles-ci.

Cette vérification de l'alignement exige la suspension des travaux à l'intérieur, l'absence totale de fumée dans le tunnel et de brouillards à l'extérieur. Les difficultés auxquelles on est susceptible de se heurter sont consignées dans l'extrait ci-dessous (*).

« A Gœschenen, on avait décidé d'exécuter l'opération entre le 9 et le 15 septembre, afin de faire coïncider avec l'époque de la paye des ouvriers, la suspension de travail qu'elle entraîne.

« La ligne de visée avait été rendue libre dans le tunnel, les fils télégraphiques avaient été posés à l'intérieur et à l'extérieur de la galerie, le personnel se tenait prêt depuis le 10 septembre à midi. Les travaux du stross furent suspendus à sept heures du soir. Mais l'opération ne put commencer immédiatement, à cause de la fumée qui remplissait encore la galerie, et fut remise au 11 septembre, le jalonnement depuis l'extérieur ne pouvant s'effectuer que de nuit.

(*) *Rapport trimestriel n° 1* sur la marche des travaux du Saint-Gothard.

« Le 11 septembre, il se leva un brouillard si épais qu'on ne put même pas reconnaître distinctement les signaux lumineux placés sur les hauteurs. Un point de repère qu'on avait essayé de déterminer à 1.086 mètres, dut être abandonné. On se vit donc obligé d'interrompre encore une fois l'opération, et de la remettre au jour suivant 12 septembre. Ce soir-là, on put enfin reconnaître les signaux, et déterminer en peu de temps, avec précision, un point de repère à 1.086 mètres; mais un brouillard épais s'étant levé de nouveau, toutes les tentatives pour déterminer, depuis l'observatoire, un second point plus en avant dans le tunnel, restèrent sans résultat. Il fallut, en conséquence, se résoudre à reporter dans le tunnel l'instrument dont on s'était servi à l'observatoire, et continuer le jalonnement en partant du point de repère qui avait été déterminé à 1.086 mètres. On réunit de cette manière, à déterminer un nouveau point fixe, à 1.600 mètres, et à continuer le jalonnement jusqu'au front de taille.

« L'opération a été terminée le 14 septembre à 2 heures de l'après-midi; elle a, par conséquent, duré 91 heures, y compris les retards occasionnés par le mauvais temps.

« Du côté sud, on commença le 31 août au soir, à suspendre les travaux de mine, et le 1er septembre à 8 heures du soir, par un temps très-favorable, on a pu viser dans le tunnel et déterminer rapidement, depuis l'observatoire, deux points de repère successifs l'un à 600 mètres, l'autre à 1.000 mètres de l'embouchure. On a essayé d'en déterminer un troisième à 1.450 mètres, mais il n'a plus été possible de voir à cette distance. Après plusieurs essais infructueux, on a dû renoncer à déterminer ce point directement depuis l'observatoire, et le 2 septembre au matin, on a continué le jalonnement dans l'intérieur du tunnel, en plaçant au point de repère établi à 1.000 mètres, un théodolite de 0m,24, et en renversant la lunette de cet instrument. A partir de ce point et à l'aide des repères

tablis, l'un à la tête du tunnel, l'autre à 600 mètres, on pu déterminer de nouveaux points à 1.450 et à 1.600 mèt., depuis 1.600 mètres, on en a déterminé de nouveaux à 1.800, 2.000 et 2.200 et ainsi de suite jusqu'à 3.000 mèt.

« Le jalonnement a été terminé le 3 septembre à $11^h,15$; deux heures après, le personnel employé à cette opération avait quitté le tunnel; en comptant les retards, le jalonnement a pris en tout 57 heures.

A Gœschenen, on a établi une galerie de 114 mètres de long, dans le rocher qui sépare la Reuss de Gœschenen de la Reuss du Gothard, afin de pouvoir placer l'observatoire à 590 mètres de la tête du tunnel. A Airolo, la longueur de la ligne visuelle à ciel découvert est réduite à 348 mèt., par suite de la rencontre avec la paroi de la montagne.

§ 3. Lignes d'accès.

LIGNE D'ACCÈS DU SAINT-GOTHARD.

La ligne d'accès du côté nord part de Fluelen, à l'extrémité sud du lac des Quatre-Cantons, et, sur la première partie du parcours, la rampe maximum ne dépasse pas 10 p. 100; mais au delà, sur la ligne de montagne proprement dite, la rampe s'élève jusqu'à 26 p. 100, et plusieurs stations, au lieu d'être établies en palier, se trouvent sur des rampes adoucies seulement jusqu'à 2,5 p. 100. Les difficultés topographiques ont exigé, pour racheter des différences de niveau, la construction de tunnels hélicoïdaux, dans lesquels la rampe s'élève jusqu'à 23 p. 100; à Wattingen, par exemple, le tracé passe la Reuss, pénètre en tunnel hélicoïdal, et, au sortir de ce tunnel, retourne sur la rive gauche de la rivière. Les mêmes difficultés de tracé se sont rencontrées à la sortie sud du tunnel, du côté d'Airolo.

Les données suivantes se rapportent au tunnel de Leg-

gistein, celui de tous qui a présenté les plus grandes difficultés d'exécution. Sa longueur est de 1.089 mètres ; on a commencé l'attaque des deux bouts, par une galerie de direction, à la base, haute de 2m,40, large de 2m,40 au ciel et de 2m,70 à la base. On a exécuté aussi, à titre d'essai, l'excavation complète, sur une longueur de 15 mètres. Pour attaquer la tête sud, placée au flanc d'une haute paroi de rochers à pic, il a fallu jeter sur la gorge de la Maienreuss un pont provisoire de dimensions considérables. Il a fallu commencer aussi, au moyen de galeries de base, le percement de deux tunnels plus petits : celui du Strahlloch, qui précède le tunnel de Leggistein, et celui de la Maienreuss, qui le suit. Ces deux petits tunnels permettront, lorsque les travaux de Leggistein devront être poussés vigoureusement, d'utiliser les matériaux extraits pour les remblais.

Le percement s'effectue à l'aide de 3 postes d'ouvriers travaillant chacun pendant 8 heures consécutives. L'avancement obtenu en 146 jours, a été de 174 mètres, ce qui donne une moyenne de 1m,19 par jour pour les deux côtés ensemble. Quatre mineurs travaillent constamment au front de taille.

L'avancement des travaux d'excavation complète a été, en moyenne, de 0m,16 par jour ; il faudrait par conséquent établir, de chaque côté, deux ou trois chantiers d'attaque pour faire marcher l'avancement de l'excavation complète de pair avec celui de la petite galerie.

Le tir des mines a eu lieu à la dynamite ; on a fait des essais d'amorçage électrique dont les résultats ont été satisfaisants.

La roche traversée est du gneiss granitique à grain très-fin.

Lorsque les conditions topographiques l'ont permis, l'attaque des tunnels s'est faite au moyen de puits et galeries. Le tunnel du Goldau, sur la ligne Lucerne-Brunnen, a été exécuté de cette façon. La roche traversée est formée de

onglomérat, tantôt solide et compacte, tantôt fissuré et délité, de molasse et de couches marneuses. Dans l'axe du tunnel, dont la longueur est de 2.488 mètres, on a foncé cinq puits, qui ont ensuite été mis en communication par une galerie de direction. Le plus important de ces puits doit avoir une profondeur de 85 mètres et sera divisé en 3 compartiments (2 servant à l'extraction, le 3e à l'épuisement de l'eau, entrée et sortie des ouvriers), et sa section rectangulaire est de $4,31 \times 1,80$. La galerie de direction mesure $2^m,40$ de haut sur autant de large. L'avancement a été de $0^m,60$ par jour. On n'a rencontré que peu d'eau dans la galerie, mais on en a trouvé beaucoup dans les puits. On a employé simultanément, pour le tir des mines, la poudre ordinaire et la dynamite, et cette dernière substance a donné des résultats beaucoup plus avantageux que l'autre.

Tous les travaux qui viennent d'être indiqués sont suspendus depuis un temps plus ou moins long, en raison des embarras financiers de la compagnie. Les projets du chemin de fer primitifs ont été remaniés, amoindris entre des limites dont l'extrait suivant peut donner une idée.

« Des circonstances financières impérieuses ont fait reconnaître la nécessité absolue de sortir des limites du programme primitif et de prévoir dès maintenant, sans préjuger en aucune manière les décisions ultérieures, des modifications et des réductions de nature à alléger les charges de l'entreprise, sans la détourner de son but et sans réduire notablement ses moyens d'action. En conséquence, on a élaboré un projet d'après lequel les deux tronçons Lucerne-Arth et Zug-Arth seraient construits dans le genre des lignes secondaires. Une modification encore plus importante du programme primitif, qui a été également prise en considération, et en vue de laquelle des études générales ont été faites, suppose la suppression complète des deux tronçons dont nous venons de parler,

et les remplace par une ligne unique, Immensée-Arth. La construction de cette ligne au delà d'Immensée incomberait au chemin de fer Sud-Argovie, au réseau duquel on viendrait se raccorder. Enfin on a même prévu, comme cas extrême, la suppression de toutes les lignes d'accès jusqu'à Fluëlen ; dans ce cas, cette dernière localité, point de départ de la ligne du Saint-Gothard proprement dite, serait reliée à Lucerne par un service de bateaux-railways (Trajecktschiffe) (*) ».

« Pour continuer l'étude des projets tendant à réduire le capital nécessaire à la construction du chemin de fer du Saint-Gothard, le bureau central s'est occupé de l'examen des systèmes d'après lesquels la locomotive à adhérence ordinaire serait remplacée, sur certains points de la ligne, par l'emploi d'engins mécaniques spéciaux. Plusieurs inventeurs ont présenté, en effet, des projets au moyen desquels ils se proposent d'établir le réseau du Gothard sans dépasser les ressources dont on dispose actuellement, ou, tout au moins, sans que la somme qu'il faudrait encore se procurer soit relativement très-considérable. »

A l'époque où commencèrent les travaux, deux voies ferrées seulement aboutissaient à Lucerne, venant l'une d'Olten, l'autre de Zurich. Depuis lors, douze lignes principales sont ou à l'étude ou en construction, et seront probablement toutes livrées à l'exploitation lorsque le réseau du Gothard sera terminé.

Les rails Vignole employés pour la ligne du Gothard ont les dimensions suivantes :

	mètres.
Longueur	7,500
Hauteur	0,125
Largeur du patin	0,110
Largeur du champignon	0,060
Épaisseur de la tige au milieu	0,015

(*) *Rapport trimestriel n° 14.*

Ces rails, dans les courbes de moins de 500 mètres de rayon et dans les rampes de plus de 12 p. 100, sont en acier et du poids de 36^{k},75 le mètre courant; partout ailleurs, ils sont en fer forgé du poids de 36^{k},33.

Les joints des rails sont en porte à faux; les éclisses, de 0^{m},48 de long, sont en fer forgé très-tenace et pèsent 4^{k},56. Elles sont fixées par quatre boulons en fer forgé de 0^{m},021 de diamètre à la tige à têtes carrées et écrous hexagonaux, et du poids de 0^{k},48.

Les coussinets, du poids de 2^{k},12, ont une largeur de 0^{m},160, une épaisseur de 0^{m},008 et une longueur de 0^{m},186. Les crampons, pesant chacun 0^{k},079, ont une longueur de 0^{m},160 et une épaisseur de 0^{m},018; ils sont munis d'un tranchant en forme de ciseau et de deux mentonnets.

Les traverses de joint sont en bois de chêne ou de mélèze, et la portée de 0^{m},54; celles intermédiaires sont en bois de sapin et la portée est de 0,87. Toutes les essences de bois sont préparées au sublimé corrosif. Les dimensions de toutes les sortes de traverses sont de :

	mètres.
Longueur	2,40
Largeur	0,24
Épaisseur	0,16

§ 4. Marche du travail.

Les planches annexées permettent de faire l'étude complète des travaux d'attaque, d'élargissement et de muraillement de la galerie. Il n'est donc pas besoin d'entrer dans de plus amples détails à cet égard.

La différence essentielle entre les deux tunnels, c'est qu'au mont Cenis la galerie d'avancement a été percée au bas de la section, tandis qu'au Gothard elle a été placée au sommet. Cette différence tient à la nature des roches traversées.

Au mont Cenis, on avait à abattre une roche calcaro-

schisteuse, assez facile à perforer, mais ayant une tend sensible à se déformer sous les pressions supérieure avait donc avantage à construire les maçonneries par ments complets présentant des conditions de résist définitive et, par suite, à ouvrir la section entière du dans le plus bref délai. Il faut pour cela se procurer, toute autre chose, un point d'appui pour les soutiens, c'e à-dire attaquer la section par le bas. Cette première gal achevée permettait de s'étendre en largeur, puis de s'ét par un boisage en éventail, appuyé sur les cadres de galerie ou sur le fond lui-même.

Au Saint-Gothard, au contraire, la roche est dure résistante : on a donc une plus grande latitude dans le ch des points d'appui, et le but principal n'est plus ici construire des anneaux entiers de maçonnerie. On pe appuyer la voûte sur les parois de rocher et construire pieds-droits après un laps de temps plus ou moins long. était naturel, dans ces conditions favorables de solidité, recourir à la méthode la plus rapide et de commencer l'a taque par le haut. La série des opérations est la suivante :

1° Ouverture de la galerie d'avancement au *sommet de la* section de déblai ;

2° Abatage en grand, ou ouverture complète du segment compris entre le sommet de la section et le niveau du fond de la galerie ;

3° Construction de la calotte de la voûte, calotte dont l'emplacement se trouve déblayé par les deux opérations précédentes ;

4° Enlèvement du stross entre les pieds-droits ;

5° Construction en sous-œuvre des pieds-droits, *y compris* la portion inférieure de la voûte, et construction du radier.

« L'idée essentielle du système est donc de *fractionner* l'opération en plusieurs parties concentrées chacune sur une petite surface, de manière qu'on puisse les exécuter sans danger et avec une grande facilité d'étayement. L'opé-

n étant conduite de haut en bas, on se fait tout de suite plafond solide, qui met le chantier à l'abri des éboulements supérieurs. Enfin, pour les quatre dernières opérations, le chantier est installé en longueur : on peut donc ment régler l'avancement du travail en déterminant venablement la longueur de chaque chantier et le nombre ommes qui y travaillent (*). »

Cette dernière considération était surtout importante au nt-Gothard, dont le percement doit être achevé en huit nées, d'autant plus que les travaux, qui auraient dû pouir commencer dès le mois d'août 1872, ont été retardés squ'au mois de mai 1873.

Mont Cenis (*fig.* 4, 5, 6, 7, Pl. VIII). — Le front de taille ait attaqué en général par sept perforateurs Sommeiller. es trous faits par chaque poste étaient au nombre de ixante, disposés suivant des circonférences concentriques t inclinés en sens divers pour favoriser l'attaque des pares minées. Leur profondeur varie, suivant la dureté de la oche, de $1^m,20$ pour les plus tendres jusqu'à $0^m,70$ dans es conditions ordinaires. Chaque trou est, en outre, de iamètre décroissant. On commence l'attaque avec un leuret de $0^m,036$ de diamètre et on le termine par un de ,028. La cartouche de poudre, comprimée au tiers de son volume, pèse environ $0^k,65$. On se sert d'argile pour bourrer les trous. On enduit aussi d'argile les tubes d'air comprimé pour les préserver contre la violence des projections. L'affût étant éloigné, on fait partir les coups en commençant par allumer les mèches de ceux placés à la partie centrale : on profite ainsi de la diminution de pression latérale lorsqu'on arrive aux trous les plus éloignés.

On jette les déblais dans un wagonnet circulant sur une voie étroite. La voie sur laquelle roule l'affût est comprise entre les deux cours de rails de la voie qui fait le service

(*) Sévène, *Cours de chemins de fer*.

de la galerie et se prolonge jusqu'à l'embouchure de celle. De chaque côté de cette même voie, et à une distance de 0^{m},30 de ses rails, est posé extérieurement un autre cours de rails. On a ainsi quatre voies :

1° La voie de l'affût, ayant 1^{m},10 d'écartement d'axe en axe des rails;

2° La voie normale, ayant 1^{m},50 d'écartement d'axe en axe des rails;

3° Deux autres voies formées chacune d'un cours de rails de la voie de l'affût, et du cours de rails placé à 0^{m},30 à l'extérieur de la voie normale.

C'est sur chacune de ces deux voies que circulent les wagonnets, et leur course reste forcément limitée à la rencontre des wagons dans lesquels ils doivent verser leur chargement.

Galerie de direction. — Les dimensions de la galerie de direction sont de 2^{m},40 sur 2^{m},50. Le peu de solidité du terrain a fait recourir au mode de soutènement des parois au moyen de palplanches, avec substitution du fer au bois. Les avantages du fer sont :

1° Les pièces en fer sont plus faciles à monter et à démonter.

2° Elles tiennent moins de place que les pièces en bois correspondantes, et permettent de réduire la section de la galerie et la durée du travail.

Chaque cadre, formé de deux barres recourbées symétriques, et assemblées de façon à permettre un démontage facile, est porté par une semelle en fer, reposant elle-même sur une autre semelle en bois qu'il suffit de chasser de côté pour déplacer le cadre.

L'écartement entre deux cadres consécutifs est maintenu constant au moyen de deux tirants en fer qui traversent les nervures intérieures des cadres, et sont clavetés à droite et à gauche de ces nervures. Les palplanches en fer qui supportent les cadres, présentent une série de trous dans

ıels on engage la pointe d'un levier en fer à l'aide ıel on la fait avancer.

ette galerie de direction a environ une longueur de nètres ; on la transforme ensuite en galerie d'élargisse-ıt en portant sa section carrée de 2ᵐ,40 à 3ᵐ,60 de s.

'armature de cette dernière consiste alors en cadres nés de robustes pièces de bois.

Le plafond de cette galerie d'élargissement sert de plan-er pour l'exécution de la calotte. Jusqu'au commence-ent de 1868, on avait fait cet avancement à la main ; on taqua ensuite au moyen des perforateurs, auxquels on fit atiquer, dans l'axe du tunnel, une petite galerie suffisant ı passage de l'affût. Sur chacune des parois de cette alerie, on établit des chantiers qui abattirent le reste des éblais ; ce qui permit de multiplier les points d'attaque.

Pour faciliter l'évacuation des déblais, le plancher porte le distance en distance des trappes sous lesquelles station-ıent continuellement des wagons.

Dès que la voûte est achevée, on fait sauter les massifs qui occupent la place des futurs pieds-droits, et on élève ceux-ci jusqu'à leur rencontre avec les maçonneries déjà terminées. L'épaisseur des revêtements varie de 0ᵐ,85 à 0ᵐ,70, sauf dans les parties solides où elle est réduite de moitié environ.

Toutes les pierres de taille pour le revêtement sont extraites du dehors ; on ne peut faire aucun usage des matériaux de déblais. Il semble à ce propos, que le desideratum le plus important dans l'art des mines, réside dans la manière d'extraire les matières utiles ou nuisibles. On serait porté à chercher un agent capable de remplacer la poudre, qui brise les roches en fragments de dimensions quelconques, et de donner au moins une apparence de formes régulières aux blocs extraits. Le premier perforateur à air comprimé, dont l'idée remonte à l'ingénieur Maus,

vers 1840, avait été imaginé pour répondre à ce besoin. Un ressort à boudin, alternativement comprimé et abandonné à lui-même, lance contre la roche un couteau qui pénètre plus ou moins selon sa dureté; on comprend comment en présentant à la roche diverses files de couteaux indépendants les uns des autres, horizontaux et verticaux, on peut séparer par ces fissures isolées, une masse qui ne reste adhérente que par sa partie postérieure, qu'on peut ensuite abattre au moyen de coins, et qui est susceptible, grâce à sa forme régulière, d'être adoptée pour pierre de construction. Des difficultés, pour retirer les couteaux engagés dans la roche, ont fait abandonner ce perforateur, dont le principe est cependant le plus rationnel de tous ceux adoptés jusqu'ici.

Le plus intéressant de tous les chantiers est celui de la galerie de direction : son avancement se trouvant limité, puis qu'il ne peut agir qu'en bout, et sur une section très-restreinte, c'est de lui que dépend la marche de tout le travail ultérieur. Les *fig.* 10 et 11, Pl. X, représentent les résultats de l'avancement trimestriel.

Les renvois se rapportent aux remarques suivantes:

(1) L'augmentation qui se rencontre dans le second semestre de l'année 1864 à Bardonnèche provient de la modification apportée aux perforateurs et de l'emploi *de la poudre* comprimée.

(2) La diminution subite de l'avancement est due à la rencontre déjà prévue du banc de quartzites.

(3) Le banc de quartzites, qui, à la fin de l'année précédente, contenait des traces d'anhydrite, retourne à sa dureté primitive et s'y maintient jusqu'à novembre 1866.

(4) Absence définitive des quartzites remplacés par le *gypse et* l'anhydrite.

(5) La diminution doit être attribuée à la nature de la roche devenue plus dure par suite de la présence de quartzites; cette diminution a lieu malgré le perfectionnement des appareils et l'augmentation de tension de l'air *comprimé qui* est portée de 5 à 6 atmosphères.

(6) Disparition du gypse et de l'anhydrite, rencontre *définitive* des schistes de Bardonnèche.

Le tableau ci-dessous donne les résultats de l'avancement obtenu par les moyens ordinaires aux deux têtes du tunnel, avant l'emploi de l'air comprimé.

ANNÉES.	CHANTIER de Bardonnèche. Avancement en mètres.	CHANTIER de Modane. Avancement en mètres.	AVANCEMENT total des deux têtes.
1858	257,57	201,95	459,52
1859	236,35	132,75	369,10
1860	203,60	139,50	343,10
1861	»	193,00	193,00
1862	»	243,00	243,00
	725,00	921,00	1.646,00

SAINT-GOTHARD.

Les *fig.* 8 à 17 de la Pl. VIII, relatives au Saint-Gothard, renferment tous les détails sur la suite des opérations. La différence dans l'exécution des travaux de Gœschenen (*fig.* 8 à 12) et d'Airolo (*fig.* 12 à 17), provient de la nature différente des terrains rencontrés.

Lorsque les rails de la voie de service ont été prolongés jusqu'au front de taille, on fait avancer, avec l'affût qui porte ordinairement six perforateurs, le réservoir d'eau pour les injections dans les trous de mine, et un chariot sur lequel se trouvent les fleurets dont on a besoin pendant le travail. Puis on fixe à l'affût le tuyau de cuir qui donne passage à l'air comprimé. Lorsque trente trous d'une profondeur moyenne de 1 mètre ont été pratiqués, on fait reculer l'affût et ses accessoires à 80 mètres environ du front d'attaque, et on les dispose sur une voie d'évitement, de telle manière que le wagon aux fleurets et le réservoir à eau soient placés en avant de l'affût, pour le mettre à couvert contre les fragments de roche que l'explosion de la mine pourrait projeter à cette distance. Quand toutes les mines ont fait explosion, on enlève les débris et on pro-

longe les rails autant que le permet l'avancement obten

Le tableau graphique (*fig.* 10 et 12, Pl. X) donne les résultats de l'avancement obtenu en galerie de direction

§ 5. Extraction des déblais.

Le service de l'extraction se fait au Saint-Gothard, au moyen de 2 locomotives à air comprimé, type n° 50 du Creuzot. Chacune d'elles d'ailleurs, semblable en tout aux locomotives ordinaires, est munie, en guise de tender, d'un réservoir cylindrique dans lequel est renfermée la provision d'air comprimé à une pression initiale de 14 atmosphères. Cette pression qui va en diminuant au fur et à mesure de la marche, se maintient néanmoins constante dans les cylindres moteurs, grâce à un appareil de distribution automatique, dont l'invention est due à M. Ribourt ingénieur au Creuzot (*).

Le bon fonctionnement de la locomotive exige que l'air soit introduit à basse pression dans les cylindres, et s'y détende d'une façon aussi complète que possible, avec la faculté d'augmenter ou de diminuer cette pression initiale suivant le profil de la voie et les exigences de la traction. L'appareil décrit ci-dessous, *fig.* 18 et 19, Pl. VIII, satisfait à ces conditions.

L'air arrivant à une pression quelconque, par une tubulure Z, pénètre dans un cylindre A muni d'une enveloppe B, remplit, en passant par les orifices *aa*, la capacité annulaire comprise entre le cylindre et l'enveloppe, et s'échappe en traversant les trous *bb*, par la tubulure Y, à une pression constante. L'appareil régulateur de pression se compose d'un cylindre creux C, ajusté à frottement doux, et solidaire d'une tige X sur laquelle sont fixés 2 pistons étanches V et H. Des orifices *ee*, pratiqués à tra-

(*) *Rapport trimestriel n°* 14.

vers les parois du cylindre creux, permettent, lorsqu'ils viennent se placer en regard des orifices *aa*, la circulation de l'air précédemment décrite. La tige X est reliée à la partie supérieure à un plateau K, vis-à-vis duquel, et à une certaine distance en dessus, est un second plateau L, porté par une tige filetée M, dont l'écrou est maintenu par un support, à une distance constante du cylindre AA. Un ressort N a pour effet d'écarter constamment les 2 plateaux l'un de l'autre, et de maintenir les trous *ee*, du cylindre mobile en regard des trous *aa* du cylindre fixe.

Les 2 pistons V et H sont de même diamètre; par conséquent une pression quelconque s'exerçant également sur chacun d'eux, laisse le système en état parfait d'équilibre. Le cylindre A étant ouvert à sa partie supérieure, c'est la pression atmosphérique seule qui exerce son action sur le système mobile. Si donc on fait arriver l'air par la tubulure Z, et que les orifices *ee*, et *aa* soient en regard, cet air se répandra en se détendant dans la capacité B. En s'échappant par les trous *bb* à une pression supérieure à la pression atmosphérique, il détermine sous le piston V, un effort antagoniste au ressort N, dont la tension peut être réglée au moyen d'une vis M manœuvrée à la main. Dès que la pression de l'air détendu devient supérieure à cette ension du ressort, le système mobile est chassé vers le aut, les trous *e* se déplacent devant les trous *a*, et réduisent ainsi les orifices d'échappement du gaz, la dimension le ces orifices dépendant directement de la pression du gaz létendu.

On voit donc que le gaz arrivant à une pression variable, oit à une pression constante qu'on peut régler à volonté, n faisant varier l'aplatissement du ressort, et par suite la ension sous laquelle le régulateur se met en mouvement.

A ces locomotives sont adaptées des bouillottes rechauffeurs, système Mekarski. On sait que l'absorption de chaleur due à la détente de l'air comprimé peut congeler, dans

les cylindres, la vapeur d'eau mélangée à cet air. Pour remédier à ce grave inconvénient, l'air, avant d'être amené dans les cylindres, passe dans une bouillotte de 390 litres de capacité, où il se mélange intimement à l'eau chaude et à la vapeur. Il est ensuite conduit au détendeur, puis dans la valve d'admission et aux boîtes de distribution des cylindres. L'échappement se fait par un orifice placé sous la traverse d'avant de la machine.

Pour charger la machine, on ferme d'abord la communication entre le réservoir d'air comprimé et la bouillotte. On met le premier en communication avec la conduite venant des compresseurs d'air, et la seconde avec un tuyau venant d'une chaudière à vapeur en pression et qui, au moyen de 2 robinets, donne à volonté de l'eau chaude ou de la vapeur. On introduit d'abord de l'eau dans la bouillotte jusqu'au niveau indiqué par le robinet d'épreuve, puis on fait barboter la vapeur jusqu'à ce que le manomètre indique la pression correspondante à la température voulue pour le fonctionnement. On rétablit alors les communications entre le réservoir d'air et la bouillotte et la machine est prête à fonctionner.

La machine est à 4 roues couplées, la voie a 1 mètre de largeur. Ses dimensions principales sont (*) :

Capacité du grand réservoir	$7^{m3},600$
Diamètre intérieur du grand réservoir	$1^{m},700$
Longueur id.	$3^{m},550$
Épaisseur de la tôle d'acier du corps cylindrique	$0^{m},015$
Id. des fonds emboutis	$0^{m},017$
Capacité de la bouillotte	$0^{m3},390$
Diamètre intérieur	$0^{m},800$
Longueur	$0^{m},880$
Épaisseur de la tôle d'acier	$0^{m},012$
Diamètre des cylindres moteurs	$0^{m},204$
Course des pistons moteurs	$0^{m},360$

(*) *Rapport trimestriel n° 14.*

Diamètre de roulement des roues.	0^{m},760
Volume d'une cylindrée.	0^{m3},0117
Volume engendré par les pistons moteurs, pour 1 mètre de parcours.	0^{m3},0196
Pression initiale absolue de chargement du réservoir principal d'air comprimé, en kilog. par centimètre carré.	12^{k} ,000
Pression constante absolue à l'introduction dans les cylindres moteurs, en kilogrammes par centimètre carré.	4^{k} ,000
Longueur de la machine, de tampon à tampon.	5^{m},000
Poids de la machine environ.	7^{t} ,000

Du côté sud, le tunnel débouche à Aïrolo dans une vallée assez large, celle du Tessin; on a pu installer, sans difficulté, les bâtiments nécessaires aux ateliers, et le transport des déblais s'effectue, au moyen de la locomotive à air comprimé. Les obstacles à vaincre ont été plus grands à Gœschenen; la tête du tunnel s'ouvre dans une vallée étroite de la Reuss du Gothard, les bâtiments n'ont pu être construits que successivement, et sur les déblais extraits du tunnel.

MONT CENIS.

A l'entrée nord, la tête du tunnel se trouve à une hauteur d'environ 100 mètres au-dessus du village de Fourneaux (Modane), où avaient été établis les chantiers. Pour amener les matériaux à pied d'œuvre, on a eu recours à un plan incliné automoteur (caisse à eau). La longueur du plan était de 240 mètres, sa pente de 0^{m},44 par mètre; la largeur de chaque voie, ainsi que celle de l'entre-voie, de 1^{m},50, le diamètre de la poulie sur laquelle s'enroule le câble métallique étant de 3 mètres. La capacité de la caisse à eau était de 2 mètres cubes, et elle pouvait monter un poids utile de 1.500 kilog; l'effet utile était par conséquent de 75 p. 100. La durée moyenne de la course était de 4 minutes, le chargement et le déchargement en

exigeait 14 ; de sorte que, dans une journée de 12 heures le nombre total de voyages était de 40.

Ventilation.

Pendant la durée du percement du mont Cenis, l'aspiration de l'air vicié a été assurée au moyen d'appareils installés aux deux têtes. Aux divers points du tunnel où l'accumulation des hommes exigeait une ventilation active, on a pourvu au renouvellement de l'air au moyen d'orifices de petite dimension, percés sur la conduite générale, et laissant échapper des jets d'air comprimé à 6 atmosphères; enfin, au front de taille, l'expulsion des gaz est faite simplement par l'échappement de l'air comprimé qui met en mouvement les perforateurs. En outre du courant naturel qui s'établit dans la galerie, la détente de l'air comprimé produit un abaissement notable de température. L'air, pour se dilater de 6 atmosphères à 1, absorbe une certaine quantité de chaleur, qu'il est obligé d'emprunter au milieu ambiant. On avait songé un instant à installer au front de taille un ventilateur aspirant, recevant son mouvement au moyen de l'air qui s'échappe après avoir agi sur les perforateurs; mais on reconnut que l'embarras causé par l'installation de ce nouveau moteur dans un espace aussi restreint que le front de taille, ferait perdre en temps ce que l'on pourrait gagner en travail; que d'ailleurs, l'air comprimé à 6 atmosphères, pour le service des perforateurs, ne conviendrait plus à ce nouvel usage, et qu'il faudrait installer une nouvelle conduite d'air comprimé à faible tension (*).

Du côté de Bardonnèche, on eut recours à un ventilateur ordinaire à force centrifuge, mis en mouvement par une turbine; un planchéiage divisait la galerie en deux conduites, l'une inférieure, d'air respirable, l'autre supérieure,

(*) *Delle ventilazione della galeria delle Alpi*, *Fellarapa*, Turin.

ir vicié. On remarqua que, dans les endroits où se trou-
ent des flaques d'eau stagnante, les fumées étaient plus
ficiles à chasser; ce phénomène peut s'expliquer par le
t que l'évaporation de l'eau, produite par l'élévation de
npérature, oppose un obstacle à la marche en avant de
colonne de fumée. La turbine, mue par une chute d'eau
20 mètres, marchait à la vitesse de 90 tours par minute,
pouvait extraire environ 30 mètres cubes d'air à la se-
nde.

Du côté de Bardonnèche, la pente, ainsi qu'il a été dit
us haut, est plus forte que du côté de Modane, et comme
mauvais air, en raison de sa haute température, se porte
ujours au ciel de la galerie, les frottements à vaincre
nt plus considérables et exigent des moyens de ventila-
ion plus énergiques. On a eu recours à des aspirateurs à
loche, mus par des machines à colonne d'eau. On a eu
oin de mélanger de la glycérine à l'eau qui remplit l'espace
nnulaire compris entre la cloche fixe et la cuve extérieure,
e qui empêche cette dernière de se geler pendant les
roids de l'hiver; les soupapes étaient équilibrées de façon
u'elles pouvaient s'ouvrir sous une très-faible pression, et
permettre ainsi une évacuation rapide du mauvais air. La cloche mobile acquiert, dans son mouvement descendant, en raison de son poids, une force vive considérable, dont la destruction, par un choc brusque, à fond de course, compromettrait la solidité de l'appareil. On remédie à cet inconvénient en prolongeant la tige de la cloche mobile, et en la terminant, à son extrémité inférieure, par un piston plongeur qui se meut dans un corps de pompe fixé au sol. L'eau est amenée sous ce piston, lequel, en descendant, est obligé de refouler cette eau, ce qui ralentit la vitesse de chute du système.

Avant de passer dans le système distributeur, l'eau est amenée dans un réservoir d'air comprimé, destiné à amortir, par son élasticité, la violence des coups de bélier qui pour-

raient se produire à l'instant où le mouvement de l'a vient à être interrompu. Les aspirateurs sont au nom de 4, divisés en 2 groupes; chaque groupe est muni d' réservoir; l'air sortant du compresseur entre par la pa supérieure de ce réservoir, tandis que l'eau s'écoule à partie inférieure par deux orifices qui la conduisent à ch cun des appareils.

Les dimensions principales des aspirateurs étaient l suivantes :

Diamètre. . . .	de la cloche	. . . .	$5^{m},00$
Hauteur	id.	. . . .	$2^{m},96$
Course maxima	id.	. . . .	$2^{m},60$
Diamètre	des soupapes	. . . .	$0^{m},50$
Course maxima	id.	. . . .	$0^{m},07$
Poids de chaque soupape.			$0^{k},500$
Diamètre du cylindre moteur.			$0^{m},60$
Id.	distributeur inférieur.		$0^{m},38$
Id.	id.	supérieur.	$0^{m},50$
Course des deux pistons distributeurs.			$0^{m},603$
Id.	id.	obturateurs.	$0^{m},132$
Diamètre	id.	. . . .	$0^{m},066$
Nombre de coups par minute, de.			6 à 8
Hauteur de la colonne d'eau.			$63^{m},00$
Volume d'eau débité par seconde.			$200^{l},00$
Dépression de l'air sous la cloche mesurée avec un manomètre à eau.			$0^{m},50$
Pression normale de l'air qui sert de coussinet.			$6^{at},00$
Diamètre de la colonne d'équilibre.			$0^{m},40$
Id.	du piston plongeur.		$0^{m},40$
Section	de la conduite d'eau	. . . .	$1^{mq},00$
Longueur	id.	. . . .	$2.500^{m},00$

On reconnut la nécessité d'avoir une chute d'eau de 70 mètres. L'eau du Charmaix fut amenée par un canal d'environ 500 mètres jusqu'à un bassin, à la sortie duquel elle entre dans une conduite en tubes de ciment de $0^{m},5$ de diamètre qui la conduit au régulateur. Ce régulateur consiste dans un bassin divisé en une série de compartiments que l'eau traverse successivement, et disposés de

e sorte que, dans le dernier compartiment, le niveau de a est constant. De là part une conduite en tubes métal-ies de 0m,30 de diamètre qui amène l'eau aux moteurs. débit était de 200 litres à la seconde; on obtient une ce de 14.000 kilogrammètres ou 180 chevaux. L'eau est suite rendue au Charmaix par une conduite en tubes de nent.

La ventilation du tunnel s'opère aujourd'hui par des s d'air comprimé répartis le long d'une conduite ana-gue à celle qui amenait l'air au front de taille pendant exécution des travaux; mais les conditions d'exécution du nnel permettent un aérage naturel assez énergique. La ente, ainsi qu'il a été dit, est de 0m,005 du côté de Bar-onnèche (sud), et de 0m,0222 du côté de Modane (nord), ur des longueurs égales de 6.110 mètres, ce qui fait une ifférence de niveau entre les deux têtes de 135 mètres; la ression atmosphérique sera, par conséquent, sensiblement noindre à l'entrée sud qu'à l'entrée nord, en raison d'abord le cette différence de niveau, et ensuite de la température plus élevée de l'air à la tête sud. Il s'établira donc un cou-rant d'air naturel de Modane vers Bardonnèche qui facilite l'aération du tunnel.

On emploie au Saint-Gothard des moyens de ventilation semblables à ceux du mont Cenis. Les compresseurs d'air peuvent fournir aux différents chantiers répartis sur la lon-gueur du tunnel, 3 mètres cubes d'air par seconde, à la pression de 14 atmosphères.

L'appel des gaz se fait par un aspirateur composé de deux systèmes de cloches se faisant équilibre et réunies par un balancier. La machine à colonne d'eau à double effet a ses deux cylindres placés chacun dans l'axe et à l'inté-rieur de la cloche fixe. L'eau est envoyée alternativement à l'un et à l'autre cylindre par le mouvement du balancier relié à l'appareil distributeur. La machine fonctionne à Gœschenen, sous une pression de 9 atmosphères, à raison

de 10 oscillations par minute, représentant une vitesse
$0^m,50$ à la seconde, et une dépense d'eau de 30 litres ég
lement par seconde, à Airolo, sous une pression de 17
mosphères et une dépense de 17 litres à la seconde.

Dans les deux cas, l'eau est prise sur la conduite d
turbines de compression d'air et le travail est de 38 cheva
vapeur.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

PERCEMENT DES ALPES.

DE COMPARATIVE DES TRAVAUX EXÉCUTÉS AUX TUNNELS DU MONT CENIS ET DU SAINT-GOTHARD.

Par M. REVAUX, ancien élève externe de l'École des mines.

SUITE ET FIN.

§ 7. Perforation mécanique.

De graves difficultés parurent pendant longtemps s'op-
ser à l'emploi de l'air comprimé pour la transmission
s forces à de grandes distances; on croyait impossible de
nstruire des récipients à joints hermétiques. Voici le ré-
ltat des expériences décisives qui eurent lieu à Genève,
moment du percement des Alpes. On prépara une con-
ite de $0^m,06$ de diamètre et d'une longueur totale de
o mètres. Cette conduite était composée de tubes de
omb sur une longueur de 300 mètres, et de tubes en
outchouc, sur le reste du parcours. Ces tubes furent
ntournés en hélices de $1^m,10$ de diamètre. La multipli-
té des tours de spire ne pouvait qu'accroître la résis-
nce au passage de l'air. Les joints, dans la partie de
conduite faite en caoutchouc, consistaient en manchons
étalliques, qui restreignaient le diamètre du tube de 60 à
3 millimètres; ces joints étaient au nombre de 18 (*).

La conduite ayant été repliée de façon que son extrémité
bre vînt aboutir en un point voisin du réservoir, on adapta
cette extrémité un orifice dont le diamètre était variable
our chaque expérience. On établit l'un près de l'autre
eux manomètres à air libre, le premier à 5 mètres du ré-

(*) *Relazione della direzione tecnica alla direzione generale lelle strade ferrate dello Stato.* Turino, 1863.

servoir, le second à 5 mètres de l'orifice; la longueur en les deux était par conséquent de 390 mètres. Des obser teurs notaient l'état des manomètres, le niveau de l'e dans le réservoir, d'où l'on déduisait le volume d'air so il était facile de conclure de ces données la vitesse de l' dans le tube, et la perte de charge. En admettant q vitesse de sortie égale, la pression doive être en raison d recte de la longueur du tube, et en raison inverse de s diamètre, on en déduit le tableau suivant, dans lequel so indiquées en millimètres de mercure les pertes de char pour des tubes de 1.000 mètres de longueur et de dia mètres de 10, 15, 20, 25, 30 et 35 centimètres, en sup sant que la vitesse de l'air soit successivement de 1, 2, 3 4, 5, 6 mètres à l'origine de la conduite.

PERTES DE CHARGE PAR 1.000 MÈTRES DE LONGUEUR.

Diamètre de la conduite. . .	$0^m,10$	$0^m,15$	$0^m,20$	$0^m,25$	$0^m,30$	$0^m,3$[illegible]
Vitesse à l'origine de la conduite. 1 mèt.	6^{mm}	4^{mm}	3^{mm}	3^{mm}	2^{mm}	[illegible]
2 —	26	18	13	11	9	[illegible]
3 —	62	42	31	25	21	[illegible]
4 —	108	72	54	44	36	[illegible]
5 —	167	112	84	67	56	[illegible]
6 —	233	156	117	94	78	[illegible]

On voit par ce tableau que, pour une longueur de 6.500 mè tres, plus grande distance que doit atteindre l'extrémité de la conduite dans le percement du mont Cenis, et avec un tube de $0^m,10$ de diamètre, en supposant la vitesse à l'origine de 5 mètres, la perte de charge finale ne serait que de $1^m,085$, soit $1^{atm.},3$, et en portant à 4 mètres seulement la vitesse initiale, la perte de pression se réduit à $0^m,70$ ou $\frac{9}{10}$ d'atmosphère, et l'on peut réduire encore de moitié cette valeur en donnant au tube un diamètre double. Dans cette dernière hypothèse, l'air arriverait au terme de sa course avec une pression initiale de 4, $\frac{2}{3}^{atm.}$, 5,1 et 5,5.

On eut occasion, en outre, à Bardonnèche, de laisser en repos pendant 24 jours un réservoir plein d'air comprimé à 6 atmosphères, et la perte de gaz fut presque insensible.

manomètre Bourdon, gradué en dixièmes d'atmosphères
lacé à 1.800 mètres du réservoir, n'a éprouvé aucune
iation pendant le travail des perforateurs au nombre de
if.

Les expériences ont prouvé, et les travaux entrepris ont
nontré plus tard que l'air comprimé pouvait être un ex-
lent agent pour transmettre la force à une grande dis-
ice. Un ingénieur français, Sommeiller, au nom duquel
rattachent tous les grands travaux du percement des
pes, eut la gloire de trouver une machine capable d'u-
iser, pour l'attaque de la galerie, la force transmise par
ir comprimé.

Perforateur Sommeiller.

Les conditions dans lesquelles fonctionnent les perfora-
urs sont essentiellement différentes de celles dans les-
uelles on fait agir les autres moteurs. Ces machines
ianquent de point d'appui solide, tout en étant astreintes
produire une grande force de percussion contre la roche;
lles doivent aussi travailler dans une atmosphère remplie
e poussières, le plus souvent quartzeuses, cause capitale de
létérioration rapide, et cependant n'exiger que des répa-
ations peu fréquentes.

Les dimensions et le poids des pièces doivent être ré-
luits au minimum, afin de permettre le maniement facile
le la machine dans un espace aussi restreint que la galerie
le direction; et par conséquent tous les mouvements doi-
vent être accomplis et régularisés sans le concours des ou-
vriers, dont la présence encombrerait le front de taille.

Le perforateur Sommeiller est le premier qui ait satisfait, d'une manière réellement pratique, à toutes ces conditions. Bien qu'il soit suffisamment connu, il est utile de le décrire ici, afin d'en faciliter la comparaison avec les perforateurs plus récents, qui font l'objet de cette étude.

Les mouvements dont le perforateur doit être animé sont

ceux de percussion, de rotation, d'avancement et de r
Le mécanisme se divise en deux parties bien dist
(*fig.* 1, Pl. IX) : le système moteur et le système pe
teur.

Le système moteur se compose d'un cylindre M, u
boîte de distribution, le tout analogue aux cylindres de m
chines à vapeur. La tige du piston de ce cylindre impri
au moyen d'un engrenage conique, à un arbre à sec
carrée q, un mouvement continu de rotation, lequel e
son tour transformé par des appareils convenables, c
permet au perforateur d'accomplir les quatre mouvem
exigés.

1° *Mouvement de percussion.* — Dans le cylindre per
teur P se meut un piston P_1, à l'extrémité de la tige d
est fixé le fleuret. Cette tige présente, sur une long
plus grande que celle du cylindre, un diamètre pres
égal à celui du piston proprement dit; par suite, l'air co
primé, qui, par l'effet de la distribution, agit constam
à la face antérieure du piston, n'exerce son action que
une simple couronne annulaire, dont la surface est le t
environ de celle du piston, et tend à pousser celui-ci e
arrière; quand, au contraire, l'air agira sur la section e
tière du piston, à la face postérieure, le piston sera cha
en avant (*).

La distribution de l'air dans le cylindre se fait de la m
nière suivante : la tige du tiroir V traverse librement l
paroi de la chambre D et est chassée de dedans en deh
par l'excès de la pression qui règne à l'intérieur sur l
pression atmosphérique. Cette tige vient buter contre
bouton à surface hélicoïde E, monté sur l'arbre à sectio

(*) Pour éviter le choc violent du piston contre le fond du cy-
lindre, on loge à la partie postérieure de ce cylindre un petit pis-
ton *e* en acier très-dur, pouvant se mouvoir, à frottement doux, et
l'on remplit d'air comprimé l'espace S, entre la face de ce piston
et le fond du cylindre.

e et participant à son mouvement de rotation. A chaque le l'arbre, le bouton pousse la tige d'une quantité au pas de l'hélice directrice, c'est-à-dire de 1 millie, et produit ainsi le mouvement de va-et-vient déternt la distribution de l'air comprimé. Quand la lumière l' spond à la lumière l'', le piston est projeté contre la e; puis, quand le tiroir a marché de gauche à droite, trouve en communication avec l'atmosphère au moyen onduit l, l'air s'échappe, et le piston est ramené en re par l'action permanente de l'air comprimé sur la antérieure du piston, assurée par la lumière l'''.

out le système percuteur étant animé d'un mouvement ancement dans le sens des longerons du perforateur, hambre D se trouve mobile par rapport à la conduite r comprimé, parallèle aux longerons. On termine alors e conduite par un tuyau mobile, susceptible de glisser à tement doux dans le tuyau fixe, de manière à pouvoir vre l'avancement du cylindre percuteur. Ce tuyau mobile recourbe à angle droit à son extrémité pour pénétrer is la chambre de distribution.

Mouvement de rotation. — L'arbre à section carrée q verse un excentrique e'' (*fig.* 1, 3 et 4, Pl. IX), comndant un doigt δ'' maintenu au contact des dents d'une ie δ au moyen d'un deuxième doigt δ''' et de deux ressts à boudin *mm* fixés au doigt δ'' par une de leurs extrétés et au doigt δ''' par l'autre. La roue δ est traversée r la tige porte-fleuret, qui peut glisser librement, mais t entraînée par le tenon b dans le mouvement de rotation cette roue. Celle-ci ayant dix-neuf dents, le fleuret urne à chaque coup de $\frac{1}{19}$ de circonférence.

Mouvement d'avancement. — Le cylindre percuteur se rmine par une longue queue k' sur laquelle sont montés la is motrice W et le manchon M, qui peut se déplacer librelent dans le sens du mouvement d'avancement et venir mbrayer la vis W; il reçoit en même temps, par un sys-

tème de roues dentées, représentées *fig.* 2, Pl. IX, un mou-
vement intermittent de rotation auquel il obéit librement.
Quand il embraye la vis W, celle-ci, à chaque tour de l'arbre *qq*, est obligée de se déplacer relativement à l'écrou taillé sur la face interne des longerons, et tout le système avance de 1 millimètre, longueur du pas de vis.

Le mécanisme d'embrayage est le suivant : un piston traverse librement la face antérieure de la chambre L de distribution et est chassé de l'intérieur à l'extérieur par la pression de l'air comprimé; ce piston porte la tige d'un trident T, qui, au moyen d'un ressort *m*, est constamment appliqué contre les dents des longerons : il manœuvre également deux tringles qui déterminent l'embrayage du manchon et de la vis W.

Quand donc le trou de mine a été approfondi d'une quantité égale à la course du cylindre, le trident T est soulevé par le bourrelet π du porte-fleuret et s'échappe des dents du longeron. Aussitôt le piston *r* est chassé en dehors et détermine, au moyen des deux tringles, l'embrayage de la vis motrice; tout le système percuteur avance. Mais dans la course rétrograde du piston, le bourrelet cesse de soulever le trident, qui, sous l'action du ressort *m*, entre en prise avec les dents suivantes des longerons, et tout revient à l'état initial.

Mouvement de recul. — Quand le système percuteur est arrivé ainsi à l'extrémité de la partie dentée des longerons, on fait embrayer une seconde roue dentée σ″, montée sur la queue *k′* du cylindre, avec un pignon *p* recevant son mouvement d'une roue dentée mue par l'arbre *q*. La vis motrice reçoit ainsi un mouvement de rotation en sens inverse de celui de l'arbre et est, par conséquent, ramenée en arrière. Cette opération s'exécute toutes les fois que le trou de mine a atteint la profondeur de 0m,800, quantité dont le cylindre percuteur peut avancer sur les longerons.

Ainsi qu'il a été dit, les perforateurs sont, de toutes les

machines, celles qui se trouvent dans les conditions de travail les plus défavorables. Il faut donc être sévère sur la nature des pièces qui entrent dans leur construction. Le résultat de nombreuses expériences a été de proscrire entièrement la fonte et de restreindre l'emploi du fer aux parties fixes, de faire en acier les pièces animées de mouvement de percussion, et en bronze celles qui, comme le cylindre, sont assujetties à des frottements continus.

Fleurets. — La pointe du fleuret doit être taillée de façon à pouvoir attaquer la roche par une section relativement grande et faciliter l'évacuation des poussières provenant du battage; la forme de Z a été reconnue la plus satisfaisante : les poussières sont rapidement évacuées par le mouvement de rotation de l'outil, et l'usure du fleuret est moins rapide. On a cependant adopté, pour l'amorçage des trous, un diamant formé de quatre taillants se coupant par le milieu, et, pour des diamètres supérieurs à $0^m,045$, on s'est servi d'un fleuret double : la roche est d'abord attaquée par un fleuret ordinaire, et le trou est ensuite élargi par les ailes d'un fleuret plus gros faisant corps avec le premier.

Le fleuret est relié à la tige du piston percuteur au moyen d'un manchon porté par cette dernière, dans laquelle s'engage l'embase du fleuret. Deux clavettes à section rectangulaire, et traversant le manchon de part en part, assurent la solidité du système.

Affût. — L'affût doit satisfaire à quatre conditions : 1° servir de support aux perforateurs; 2° avoir une masse assez considérable pour amortir les vibrations que ceux-ci lui transmettent; 3° permettre le fonctionnement simultané d'un nombre plus ou moins grand d'appareils qu'on puisse amener, par de faibles déplacements et, par suite, sans perte de temps, dans des positions aussi variées que possible; 4° permettre une circulation relativement facile au front de taille.

« L'affût consiste en un chariot de $8^m,80$ de long, 1^m, de haut et $1^m,27$ de large. Ce chariot est formé de ba de fer parallèles, reliées entre elles par des barres tra versales, assemblées par de solides boulons, et portan l'avant les supports des perforatrices. Ces supports se com posent de manchons qui peuvent monter ou descend sans tourner, le long de grosses vis portées par l'un d longerons, supérieur ou inférieur. Le manchon projette. l'intérieur ou à l'extérieur de la cage, un bras fileté s lequel se trouve un autre manchon, muni d'un œil, se vant, à l'aide d'un boulon, à fixer l'arrière du perforateu Ce second manchon peut glisser le long du bras, et la fle d'appui du perforateur prendre ainsi diverses inclinaisons De cette façon, en déplaçant les manchons des vis verti cales et les points d'attache des perforateurs *sur les bras* on peut, dans certaines limites d'amplitude, placer chaque appareil dans un plan vertical donné et lui donner, dans ce plan, une inclinaison également donnée (*). »

A l'affût sont fixés des tuyaux amenant l'air comprimé aux perforateurs, et l'eau à la lance d'injection pour le cu rage des trous. Il porte aussi les outils de rechange et se termine à la partie postérieure par une sorte de *table ser* vant d'atelier pour les réparations à faire sur place.

L'affût *k* portait dix perforateurs du poids de *350 kilog*. chacun; le poids total était de 12.000 kilog.

Le tableau (*fig.* 10 et 11, Pl. X) donne les résultats de l'avancement trimestriel au mont Cenis. Alors que, dans le travail à la main, qui dura de 1857 à 1862 à la tête nord, l'avancement annuel maximum n'était que de 243^m, ce même avancement s'est élevé à 680 mètres avec l'appa reil mécanique, et l'avancement moyen par vingt-*quatre* heures s'est élevé de $0^m,60$ à $1^m,80$. Pour un travail où la question capitale est celle de l'économie de temps *et où les*

(*) Callon. *Cours d'exploitation des mines*, t. I.

frais de premier établissement ne sont que secondaires, le problème de la substitution du travail mécanique au travail de l'homme était résolu victorieusement.

On faisait des trous de mine profonds de $0^m,75$ à $1^m,20$, selon la dureté de la roche ; la poudre était comprimée en cartouches de $0^m,026$ de diamètre, percées d'un trou dans l'axe, destiné à recevoir une fusée en gutta-percha. La charge de poudre était de 300 à 700 grammes par mine, selon la position des trous et l'effet qu'on en attendait. On faisait partir d'abord les mines au centre de la section, et le dégagement de la roche, ainsi obtenu, augmentait l'effet utile des coups de mines concentriques. L'air était comprimé à 6 atmosphères, et l'appareil battait 250 coups à la minute. La durée de la perforation mécanique était de six à huit heures, le bourrage et l'allumage des mines exigeait une heure et demie, l'enlèvement des déblais une à deux heures ; de sorte que la durée totale d'une avancée variait de huit à douze heures, et le rapport du temps consacré au travail mécanique, au temps total exigé par les opérations d'une avancée, était de 0,74.

Ainsi qu'on l'a vu, le perforateur Sommeiller a un poids relativement élevé (250 kilog.), et de plus, la multiplicité de ses organes exige des réparations fréquentes, de sorte qu'il fallait parfois jusqu'à 9 perforateurs en réserve pour 3 en travail. Les tentatives faites pour remédier au premier inconvénient ont conduit aux perforateurs Sachs, Dœring, et leurs dérivés dans lesquels le poids de l'appareil descend à 50 kilog. ; mais la légèreté de l'appareil est un avantage plus apparent que réel, puisqu'on est obligé de compenser cette légèreté par le poids de l'affût, qui doit assurer la stabilité du système et amortir les vibrations produites par le battage.

Le perforateur Dubois et François, établi sur le même principe que le Sommeiller, est comparable à ce dernier au point de vue de la force, des dimensions et du poids ; mais

il s'en distingue par la simplicité plus grande des mécanismes.

Perforateur Dubois et François (*).

Le système percuteur se distingue par le mode de distribution de l'air : dans la chambre de distribution se meut un tiroir relié à deux pistons H et H' de diamètres inégaux; le piston H', de plus grand diamètre, entraîne le tiroir vers la droite, découvre ainsi la lumière *x* et lance le fleuret contre la roche. A cet instant, le piston H' est arrêté par l'artifice suivant : un petit canal *ii*, ménagé à travers ce piston, permet à l'air comprimé de se répandre dans la chambre J et d'agir sur les deux faces du piston, dont l'action est ainsi annulée. Le tiroir obéit alors au piston H qui l'entraîne à gauche, et, dans ce mouvement, inverse du précédent, l'air comprimé, qui a agi sur le piston percuteur, s'échappe dans l'atmosphère, tandis que, la face antérieure étant mise en communication avec la chambre par le démasquement de la lumière *z*, le piston est ramené en arrière. La tige A de ce dernier porte un *bourrelet* C qui, dans sa marche en retour, vient, par l'intermédiaire de la pédale D, ouvrir la soupape E, l'air comprimé de la chambre J s'échappe, le piston H' exerce de nouveau son action, et lance le fleuret contre la roche. Ce dispositif a pour but d'amener la force motrice instantanément, par l'envoi violent du fleuret contre la roche, et d'effectuer le retour d'une manière modérée.

Mouvement de rotation. — Deux petits pistons P, P (*fig.* 6 et 7), à simple effet, sont mis alternativement en communication au moyen des canaux *m* et *n*, et, par leur partie inférieure, avec l'air comprimé, qui les soulève, ou avec l'échappement, qui leur permet de retomber naturel-

---

(*) Note sur le perforateur Dubois et François, Darbelet, Liége. 1872.

ment. Ce mouvement oscillatoire est transmis à l'arbre *r*, section rectangulaire, qui commande un mécanisme ana-ogue à celui de l'appareil Sommeiller (*fig.* 8).

L'avancement et le recul du cylindre s'opèrent à l'aide d'une vis R manœuvrée à la main ; ce mode de translation non automatique a pour avantage de permettre de raccourcir ou d'allonger la course du piston percuteur de 2 à 18 centimètres ; de sorte que, dans le percement de roches excessivement dures ou dans la préparation d'une attaque, on peut frapper rapidement et moins violemment, tandis qu'on peut frapper à grande course dans le cas d'une roche de dureté moyenne. Le nombre de coups peut aller jusqu'à 500 par minute, mais il se tient en moyenne entre 250 et 300. L'appareil fonctionne à une pression d'air de 2 atmosphères et demie.

Les attaques doivent être faites à $1^{m},25$ dans les roches très-dures. On a reconnu la nécessité de faire porter, autant que possible, les coups de mine dans le même plan vertical, de façon à maintenir le front d'attaque bien droit ; car si la roche présente un plan oblique à l'axe d'action du fleuret, celui-ci dévie, le trou commence sur le côté, et il faut alors agir sur l'affût pour reprendre la direction voulue.

Les affûts, destinés à recevoir six perforateurs, ne pesaient que 5.000 kilog. : c'était un avantage au point de vue de la facilité des manœuvres ; mais on reconnut bien vite que le système manquait de stabilité, et l'on revint aux affûts massifs du mont Cenis de 12.000 kilog.

Ce perforateur avait déjà fonctionné avec succès dans diverses natures de roches, lorsque fut entrepris, en 1872, le percement du Saint-Gothard. Il fut choisi pour commencer l'attaque, en raison de ses avantages réels sur le Sommeiller, et aussi parce qu'il exige une pression d'air moitié moindre, question capitale au moment où l'on manquait alors de forces hydrauliques, et qu'on était obligé d'avoir recours à la vapeur pour la compression de l'air.

Le perforateur Dubois et François ne tarda pas à être reconnu insuffisant pour l'attaque des roches dures du Gœ-thard, ainsi qu'il résulte de l'examen du tableau ci-dessous :

ÉLÉMENTS DE COMPARAISON.	CÔTÉ de Gœschenen.			CÔTÉ d'Airolo (Sud).		
	Juill.	Août.	Sept.	Juill.	Août.	Sept.
Avancement mensuel	51m,00	66,00	50,00	47,00	89,00	60,[illegible]
— journalier moyen	1m,65	2,15	1,67	1,53	2.87	2,0[illegible]
— — maximum	4m,75	3,20	2,95	2,50	5,90	3,[illegible]
Nombre des attaques	56	70	58	70	89	74
Temps moyen pour le percement	6h,43	5,41	7.09	3,10	2,32	3.42
— pour tir et déblayage	5h,8	5 13	5,2	7,29	5,31	6.[illegible]
— d'une attaque à l'autre	11h,51	10,43	12,22	10,39	8,3	9,[illegible]
Nombre total de trous percés	1.477	1.881	1.535	758	1.100	1.17[illegible]
Nombre moyen de trous percés par attaque	26,37	26,87	26,47	10,83	12,36	15,8[illegible]
Longueur totale des trous	1.451m	1.886	1.535	837	1.327	1.37[illegible]
Longueur moyenne des trous par attaque	25m,91	26,95	26,47	11,96	14,91	18,6[illegible]
Longueur moyenne d'un trou	0m,983	1,003	1,000	1,105	1,207	1,17[illegible]
— de toutes les attaques	55m,05	70,21	58,00	77,35	107.42	87,2[illegible]
Nombre de perforateurs à réparer	64	125	145	14	17	20

A Gœschenen, la masse principale de la montagne était composée de gneiss granitique compacte, tandis qu'à Airolo, elle consistait en micaschistes talqueux renfermant de l'amphibole et des grenats disséminés, et en schistes quartzeux. La comparaison du tableau ci-dessus montre que Dubois et François a donné de très-bons résultats dans la roche plus tendre d'Airolo, tandis que le granite de Gœschenen paraît trop dur pour elle ; en effet, de ce côté, il y a eu, à chaque attaque, à changer plusieurs machines qui s'étaient cassées ou endommagées. Cette expérience a été décisive et a fait renoncer à l'emploi des Dubois et François.

Perforateur Ferroux.

L'appareil Dubois et François étant décidément rejeté, les expériences faites sur de nouveaux perforateurs conduisirent à l'emploi simultané de deux d'entre eux, Ferroux et Mac-Kean.

Le rapport du compte rendu de ces expériences comparatives s'exprime ainsi au sujet du premier :

Tous les perforateurs sont des machines pourvues d'un piston recevant, dans un cylindre, un mouvement alternatif et portant le fleuret qui attaque la roche. En outre de ce mouvement qui produit les chocs du fleuret, deux autres mouvements doivent se produire en même temps, savoir : la rotation graduée de l'outil, et l'avancement de tout l'appareil, à mesure que le trou se creuse dans la roche.

Ce dernier mouvement actionné ordinairement par une vis se mouvant, soit à la main, soit automatiquement, laissait beaucoup à désirer. Lorsque la vis était actionnée par un ouvrier, celui-ci pouvait difficilement suivre avec exactitude le travail du fleuret. En effet, ce dernier pénètre dans la roche avec une grande irrégularité, provenant soit de l'état de son tranchant qui se modifie à chaque coup, soit de celui de la roche qui varie à l'infini. Il résulte de ces circonstances que le fleuret se coince souvent dans le trou, ce qui oblige à tourner la vis en sens inverse pour le dégager. Il arrive aussi, lorsque le cylindre ne suit pas la même progression que le fleuret, que le piston frappe sur le fond du cylindre et que celui-ci se rompt par l'effet du choc.

Les mêmes inconvénients se présentent lorsque le mouvement de progression est automatique, l'avancement du fleuret étant régulier, il faudrait que le forage du trou le fût aussi, ce qui est matériellement impossible.

Les arrêts provenant de ces circonstances sont parfois assez fréquents pour que l'avantage de la perforation mécanique en soit considérablement réduit, de plus ils nécessitent la présence d'ouvriers très-vigilants pour éviter de nombreux accidents aux machines.

Dans le perforateur Ferroux, le mécanisme est disposé de telle manière que, lorsque le trou a acquis une certaine

profondeur, le perforateur avance spontanément de la même quantité sous la pression d'un piston agissant dans un cylindre dit propulseur. S'agit-il de retirer le fleuret du trou percé, il suffit de tourner un robinet, pour faire passer l'air comprimé sur le côté opposé du piston propulseur, et ramener le fleuret instantanément en arrière.

Le principal avantage que les machines Ferroux présentent vis-à-vis des autres machines, consiste en une grande solidité de construction qui rend les réparations relativement moins fréquentes, et permet de continuer le travail sans interruption. Si, par exemple, on compare pendant quelque temps l'effet des machines Ferroux à celui des machines Dubois et François, on constatera que la machine Ferroux fonctionne à peu près avec la même vitesse que ces dernières. Mais, comme à la longue, la machine Ferroux occasionne moins de perte de temps pour l'échange des pièces endommagése, les résultats qu'on en obtient sont beaucoup plus satisfaisants que ceux obtenus au moyen des machines Dubois et François. En revanche, le grand nombre de pièces dont se compose la machine Ferroux en rend l'entretien plus difficile que celui de la machine Dubois et François. Celle-ci étant d'une construction plus simple, revient aussi à meilleur marché. Le poids d'une machine Ferroux est d'environ 250 kilog.

Dans la machine Ferroux l'avancement du cylindre se fait automatiquement et avec la même progression que celui du fleuret, tandis que dans la machine Dubois, cet avancement est fait à la main, et par conséquent, pas toujours quand il faudrait. Cela a pour effet que beaucoup de cylindres des machines Dubois et François sont endommagés ou dérangés, chose qui n'arrive jamais aux machines Ferroux. Les inconvénients qui se présentent le plus fréquemment, tant aux machines Ferroux qu'à celles Dubois et François, sont les ruptures de la tige principale du piston, par suite des chocs répétés auxquels cette tige est

soumise ; le fer dont elle est composée finit par se transformer, de nerveux qu'il était, il devient cristallin et par là très-cassant.

Pour le service des machines Ferroux, il a fallu, jusqu'à présent, le même nombre d'hommes que pour celles Dubois et François. Toutefois la manœuvre des premières est plus facile, et par conséquent le personnel qui doit les diriger est plus vite formé.

La quantité d'air employée par les machines Ferroux est plus grande que celle employée par les machines Dubois et François, parce que le cylindre des premières a une capacité de $1^{lit.},7$, tandis que celui des dernières ne mesure que $1^{lit.},3$. En total, la machine Dubois et François consomme par coup de piston $1^{lit.},6$, et la machine Ferroux $2^{lit.},3$ d'air comprimé. La perte de la dernière pour les espaces nuisibles est donc sensiblement plus grande. De plus, à cause de l'indépendance du mouvement du tiroir et de celui du piston porte-outil, il se produit assez souvent de faux coups qui consomment encore de l'air en pure perte. Enfin, il faut remarquer que tandis que la machine Dubois et François marche bien à 3 atmosphères, la machine Ferroux, à cette pression, donne un effet utile moins satisfaisant. Du reste, une pression faible n'est favorable pour aucun type de machines, et ne convient surtout pas pour le percement d'une roche dure. Il a été constaté que pour percer 100 mètres de trous de mine, 6 machines Dubois et François employaient 668 fleurets fraîchement aiguisés et 24 heures, tandis que 6 machines Ferroux n'employaient que 621 fleurets et 15,9 heures. Pendant la durée de ces travaux, 6,3 machines Dubois et François en moyenne ont dû être envoyées en réparation ; tandis que pour celles Ferroux la moyenne n'a été que de 3,5. Il faut remarquer en outre que, dans cette expérience, les machines Ferroux étaient à l'avancement, celles Dubois et François à la cunette du stross, de sorte que les dernières recevaient

une pression d'une atmosphère au moins supérieure à cel qui agissait sur les Ferroux.

Dans le perforateur Ferroux (*fig.* 1, 2, 3, 4 et 5, Pl. X) (*) comme dans le Sommeiller, un cylindre moteur R muni d'u volant G (*fig.* 3) actionne un arbre S qui commande la r tation du fleuret et le mouvement du tiroir de distributio du cylindre moteur (*fig.* 1, Pl X). Le mécanisme de rota tion (*fig.* 4) est identique à celui du Sommeiller; mais l bouton hélicoïdal a été avantageusement remplacé par u excentrique U placé sur l'arbre et auquel est attachée l tige P du tiroir distributeur.

Le perfectionnement essentiel consiste dans la transfor mation complète des mécanismes d'avancement et de recul L'air est introduit dans un cylindre L, appelé cylindre pro pulseur, dans lequel se meut un piston M à tige creuse N invariablement fixée par son extrémité antérieure a cylindre percuteur T. L'air, en pénétrant par la tige creuse, va alimenter la boîte de distribution P du cylindre percu teur; il exerce ainsi une pression constante sur le piston M, et tend par suite à le chasser en avant, ainsi que le cylindre percuteur, auquel ce piston est relié; mais ce mouvement est entravé par une fourchette D, dont les dents s'appuient constamment sur une crémaillère pratiquée à la face supérieure des longerons, grâce à la pression de l'air qui agit continuellement pour soulever un petit piston *p* en communication permanente avec la boîte à air.

Mais lorsque le fleuret a approfondi le trou d'une quantité égale à la distance des dents de la crémaillère, la tige B du percuteur, munie d'un bourrelet C, vient soulever la fourchette, le cylindre est libre alors d'obéir à l'impulsion du piston M, et avance d'un cran; dans le mouvement de recul du fleuret, la fourchette s'applique de nouveau sur les longerons, et s'oppose à l'avancement de l'appareil.

(*) *Rapport trimestriel n° 8.*

Le cylindre est ainsi consolidé dans le sens de l'action du leuret, il l'est dans le sens opposé par 2 petits pistons XX (*fig.* 2, coupe *cd*), munis d'ergots qui s'engagent dans les dents de 2 crémaillères pratiquées sur la face interne des longerons, et mis en communication constante avec l'air comprimé par la tige creuse du piston. Les dents de ces crémaillères sont taillées en sens inverse de celles de la face supérieure des longerons, toute oscillation de la machine en arrière se trouve empêchée. Pour obtenir le mouvement de recul, on ferme le robinet d'arrivée de l'air comprimé, on ouvre celui de sortie. L'air cesse d'agir à la fois sur le piston M et sur les petits pistons XX, qui sont aussitôt rapprochés au moyen d'une forte bande de caoutchouc *zz* reliant leurs tiges; on introduit alors l'air par le tuyau KK dans la couronne annulaire K'K'; il agit sur la face antérieure du piston M et le ramène aussitôt à son point de départ. Ce perforateur peut aisément donner 400 coups par minute.

On voit que le mouvement du tiroir et celui du rochet sont indépendants de celui du piston percuteur. C'est là un avantage important; l'arrêt du dernier n'entraînant pas celui des deux autres, quand le fleuret viendra à se coincer dans la roche, il suffira de lui donner un léger coup pour qu'il se remette en action, puisque le mouvement de rotation qui n'a pas été entravé, tend à faciliter le dégagement du fleuret.

L'affût, portant de 6 à 8 perforateurs, est analogue à l'affût Sommeiller, mais il ne pèse que 6.000 kilomètres au lieu de 12.000. L'ensemble de la construction représente deux fermes reliées par des croix de Saint-André, conditions essentiellement favorables à la stabilité.

Perforateur Ferroux simplifié.

Dans cette nouvelle machine (*fig.* 6, 7, 8, 9, Pl. X), on

a réduit le nombre des organes extérieurs, que la pratiq a fait juger superflus, et simplifié les appareils effectu la distribution de l'air et la rotation du fleuret. Le nouve perforateur est presque moitié moins lourd et moins co teux que l'ancien; il est, de plus, d'une réparation trè facile.

Le cylindre percuteur O soulève alternativement, a moyen des parties tronc coniques qui le terminent à se deux extrémités, deux petits pistons *aa* percés de lumière pour l'admission et l'émission du fluide moteur, leque arrive, comme précédemment, par la tige creuse Y. Le piston soulevé agit par l'intermédiaire du levier *b*, sur le piston qui se trouve à l'autre extrémité du cylindre, de manière que quand le premier ouvre la lumière d'admission, le second ouvre celle d'émission. Ce mouvement trè simple permet une grande rapidité de marche.

L'organe essentiel de la rotation du fleuret consiste e une rainure hélicoïdale pratiquée sur la tige du piston percuteur, et dans laquelle s'engage un ergot *a* (*fig.* 9, coupe *ef*), venu d'une pièce avec la roue à rochet *d*.

Lorsque le fleuret avance, la roue est libre de prendr son mouvement de rotation; mais dans le recul, elle e est empêchée par le rochet *f*; et c'est alors la tige du piston qui est obligée de tourner.

Le calage de l'appareil, relativement à la marche en avant, n'a pas subi de modification. Pour la marche en arrière, on a substitué aux deux pistons primitifs un piston unique X (*fig.* 7, coupe *ab*). Ce piston, soulevé par l'air comprimé, agit sur une bride munie d'une cale H qui s'engage dans les dents de deux crémaillères pratiquées sur la face inférieure des longerons.

Ces simplifications ont permis d'abaisser le poids de l'appareil de 250 à 180 kilog., et le volume d'air dépensé par coup de piston de 2 décimètres cubes,300 à 1 décimètre cube,40.

Perforateur Mac-Kean (*).

On essayait au Saint-Gothard, en même temps que le Ferroux, le perforateur Mac-Kean, qui se distingue des précédents par le mode de distribution, la grandeur des ouvertures d'admission et d'émission et, par suite, la suppression des étranglements, ce qui permet de donner un plus grand nombre de coups par minute. Cet appareil a produit les meilleurs résultats.

Le même fleuret peut forer jusqu'à 40 trous de mine, en battant de 6 à 700 coups à la minute, tandis que les autres perforateurs, en battant 4 à 500 coups, ne forent que 3 à 4 trous avec le même fleuret. La raison en est que les perforateurs donnent des coups trop forts, et que l'excédant de force, au lieu de produire une désagrégation plus profonde de la roche, est détruit au moment du choc par l'écrasement du fleuret.

Le châssis (*fig.* 13, 14, 15 et 16, Pl. IX) est ici formé d'une barre unique A à nervures en double T, sur laquelle le cylindre batteur peut glisser au moyen de la rainure E, ménagée à sa partie inférieure. Le piston offre à l'air comprimé, comme d'ordinaire, une surface d'action plus petite à l'avant qu'à l'arrière, et la tige qui le prolonge porte une pièce cylindro-conique I, commandant la distribution, la rotation du fleuret et l'avancement.

Distribution. — Cette pièce I se compose d'un pignon hélicoïdal en acier, terminé à ses deux extrémités par deux surfaces coniques reliées par une partie cylindrique dentée. Dans le mouvement de va-et-vient du piston, les surfaces coniques viennent alternativement soulever des taquets P et P' fixés sur une tige, qui est ainsi animée de deux mouvements de rotation de sens contraires. Cette tige s'as-

(*) Pernolet. *Application des rapports mécaniques au percement des galeries au rocher.*

semble à son extrémité antérieure avec le tiroir cylindriq de distribution, et le fait ainsi osciller à frottement doux en réduisant les chocs au minimum, les pièces agissant les unes sur les autres en glissant et sans résistance dure.

Le tiroir de distribution K (*fig.* 16, Pl. IX) est une pièce creuse en acier, ayant presque la longueur du cylindre; il oscille dans un fourreau muni de deux fentes longitudinales vv', aboutissant par les orifices zz' à chacune des extrémités du cylindre. L'arrivée de l'air se fait par l'extérieur S, et son échappement par l'intérieur R du tiroir. Celui-ci, dans son mouvement, met l'une des lumières v en communication avec la source d'air comprimé; et l'autre v' avec l'atmosphère par le conduit intérieur. L'arrivée et l'échappement se font aussi brusquement par une grande section, et sans étranglement; on peut battre jusqu'à 600 coups à la minute.

Mouvement de rotation. — Le pignon hélicoïdal I engrène avec une vis Q, à laquelle un cliquet, maintenu par un ressort M sur la roue à rochet Q', fixée sur la tige qui porte cette vis Q, ne permet de mouvement de rotation que dans un sens. Quand le pignon I est entraîné en avant par le cylindre batteur, la vis Q peut tourner; mais lors de la course en arrière, elle en est empêchée par le cliquet, et c'est alors le pignon qui est forcé de tourner, en entraînant avec lui le fleuret.

Avancement et recul. — L'organe principal est une vis en acier V reliée par les deux extrémités à la règle A sur laquelle glisse le perforateur, et à celui-ci par l'écrou mobile V. Sur la vis est monté un encliquetage formé de deux rochets R et M, M est maintenu par un ressort au contact de R, et porte un ergot qui s'engage dans une rainure longitudinale pratiquée dans la vis; R est muni d'une oreille p (*fig.* 15) qui vient s'engager entre les deux branches d'une fourche terminant le taquet de distribution P. A chaque mouvement de P, p est déplacé et fait tourner R; mais M

ie tourne, et par suite n'entraîne le fleuret qu'autant que e déplacement angulaire de P est suffisant pour que R soit léplacé de toute la longueur d'une dent, c'est-à-dire que e trou soit assez approfondi pour que le fleuret ait une course suffisante avant de venir en attaquer le fond.

Pour obtenir le recul, on manœuvre une clef d'embrayage de façon à rendre la vis indépendante du mouvement du rochet R ; puis on fait tourner cette vis à la main au moyen le la manivelle, qui détermine le mouvement en arrière le l'écrou, et par suite du perforateur.

Perforateur Turretini.

Le piston percuteur se compose de deux parties très-distinctes et absolument indépendantes l'une de l'autre. La tige P, munie d'un renflement R, d'un diamètre un peu inférieur à celui du cylindre, et le piston fourreau à segments *f*, qui peut être appliqué contre le renflement R, ou, au contraire, en être séparé. L'air, arrivant à l'extrémité antérieure du cylindre par l'orifice O, remplit l'espace annulaire B compris entre le cylindre et le fourreau, maintient ce dernier contre le renflement, et tend constamment à chasser le fleuret en arrière (*fig.* 9, 10, 11, 12, Pl. IX).

La distribution de l'air est assurée par les mouvements d'un petit piston distributeur *p*, logé dans une cage au-dessus du cylindre percuteur. Ces mouvements, inverses de ceux du piston percuteur, sont aussi produits par la différence de surface d'action que ses deux faces présentent à l'air comprimé, celle d'avant étant constamment pressée, celle d'arrière, la plus grande, seulement quand les besoins de la distribution l'ordonnent (*).

Supposons que le piston percuteur marche en arrière ; il découvrira, à un certain moment, une lumière *n* ; mais

(*) *Rapport trimestriel*, n° 18.

cette circonstance n'apportera aucun trouble dan marche, car l'orifice supérieur de cette lumière est, à moment, fermé par le distributeur. Un instant après, lumière *m* sera découverte ; l'air, libre alors de pénétrer l'arrière du cylindre, agit sur la grande face du piston lui fait reprendre la marche en avant. La lumière se trouvant de nouveau bouchée, l'air ainsi empris n'agit plus qu'en vertu de sa force d'expansion ; celle serait rapidement équilibrée par le coussint d'air em gasiné à l'avant, et la marche arrêtée sans l'interven du piston distributeur *p*. L'air agit en effet sur sa f postérieure en même temps que sur celle du piston p cuteur ; dès que *m* a été démasquée, il est donc cha en avant comme ce dernier, mais au moment où celu revient recouvrir *m* il démasque *n*, de sorte que l'arr de l'air à l'arrière du percuteur, interceptée par la f meture de *m*, se trouve aussitôt rétablie par l'ouvert de *n*, et la marche en avant continue ; mais bientôt bande du percuteur recouvre *n* elle-même, et la course continue qu'en vertu de la force d'expansion de l'air. Qu le piston est arrivé à fond de course, le distributeur repr sa position première et met l'air en communication dire avec l'atmosphère par des canaux ménagés dans ce but.

Pour accélérer l'évacuation de l'air, et augmenter ai le nombre de coups par minute, on utilise la réaction pr duite par le choc du fleuret contre la roche sur l'ensemb formant piston. Au moment de ce choc, le percuteur vi lemment arrêté rebondit en arrière ; le fourreau, qui jusqu là a été maintenu appliqué contre le renflement, contin sa marche en avant, en raison de l'inertie de la masse : le deux pièces se séparent et l'air s'échappe par l'intérie du fourreau. Un second bourrelet de la tige du pisto modère sa vitesse à la sortie, et empêche, par la résistance qu'offre sa surface, un trop grand écartement du fourreau et de la tige. Enfin, un second échappement s'opère encore

une rainure droite pratiquée sur la tige qui termine le ton. Lorsque la course est trop longue, cette rainure re dans le cylindre, accélère l'évacuation et sollicite si le retour en arrière.

Outre la grande rapidité qu'offre ce mode de distribution, présente encore l'avantage de diminuer les ébranlements oduits par le choc du fleuret, en réduisant au minimum masse choquante les réparations de la tige sont rendues us faciles par son isolement absolu.

Mouvements d'avancement et de recul. — Les mouvements s'opèrent plus au moyen de cremaillères pratiquées sur s longerons, et par suite le cylindre n'avance plus d'une uantité déterminée *à priori*. Le mouvement d'avancement 'a lieu qu'autant que la machine a besoin de se rapprocher de la roche. L'organe essentiel consiste en un piston *h*, gissant sur un levier qui pivote en X; une traverse, placée u-dessous des longerons, sert de point d'appui au levier t permet, quand il est soulevé par le piston, d'opérer un serrage énergique. Un robinet *r*, manœuvré à la main, établit une communication entre la partie arrière du percuteur et le piston *h*; dès lors, dans la course avant du percuteur, l'air comprimé arrive sur le piston *h* et produit le serrage; dans la course arrière, l'air qui agi sur le piston s'échappe en même temps que celui qui agi sur le percuteur; ce dernier, mobile alors sur ses longerons et sollicité par la réaction de l'air sur sa face antérieure, avance vers la roche et avance seulement de la quantité dont le coup précédent a approfondi le trou.

Pour le recul, c'est l'inverse qui doit se produire; il faut que le cylindre soit libre quand le piston commence sa course avant; l'air comprimé arrive, par une manœuvre préalable du robinet *r*, sous le piston *h* et opère le desserrage; le point d'appui manquant, le fleuret n'avance que d'une quantité insignifiante et c'est le cylindre qui recule. Quand le percuteur recommence sa course arrière, l'air

comprimé s'échappe sous le piston *h*. Mais comme, pour ce cas spécial, il arrive d'une façon constante sur ce même piston, en agissant toutefois sur une surface moins grande en dessus qu'en dessous, le piston s'abaisse et produit le serrage des longerons; le fleuret peut reculer sans que le cylindre avance.

Mouvement de rotation. — Ce mouvement est communiqué au fleuret au moyen de deux roues à rochet RR, portant l'une un ergot droit, l'autre un ergot hélicoïdal, s'engageant dans des rainures correspondantes pratiquées sur la partie postérieure de la tige. Ces roues engrènent avec des cliquets qui déterminent, comme dans les perforateurs précédents, le mouvement de rotation de la tige pendant le recul du fleuret.

La *fig*. 10, Pl. X donne les résultats comparés de l'avancement en petite galerie au mont Cenis et au Saint-Gothard. On a travaillé 35 trimestres à Bardonnèche et 32 à Modane. Au Gothard, les travaux de percement auraient dû pouvoir commencer à la fin d'août 1872, pour être terminés dans l'espace de 8 années, soit 32 trimestres. Tout ce qui regardait l'exécution des abords jusqu'à chaque seuil du tunnel ne concernait nullement l'entreprise du tunnel, et devait être exécuté par la compagnie du chemin de fer du Gothard. Du côté d'Airolo, les abords n'ont été prêts qu'à la fin de septembre 1872, et à Gœschenen à la fin de décembre, de sorte que les travaux ont été retardés jusqu'en mai 1873. Au mois de juillet 1877, il y avait déjà 19 trimestres d'écoulés, et la galerie d'avancement avait atteint la longueur de 4.400 mètres à Airolo et 4.600 à Gœschenen; il reste par conséquent une longueur de 6.000 mètres à percer en 13 trimestres, soit 460 mètres par trimestre: la moyenne jusqu'ici a été de 560. En prolongeant la ligne ponctuée qui joint le point milieu du tunnel 7.500 à la distance actuelle des deux fronts de taille des ouvertures, on voit que cette ligne donne assez bien la direction de la

courbe, et va tomber près de l'origine (*fig.* 12, Pl. X) (*).

Ces tableaux montrent quels progrès ont fait les perforateurs : l'avancement trimestriel maximum au mont Cenis n'a pas dépassé 220 mètres (Modane), tandis qu'il a atteint 360 mètres au Gothard (Gœschenen), et la courbe du Gothard se maintient bien au-dessus de celle du Cenis.

Pour donner une idée des résultats de la perforation mécanique, j'ai choisi la période du 1er juillet au 30 septembre 1873, qui est une de celles où les résultats maximum ont été atteints.

(*) En décembre 1878, la galerie de direction avait atteint 6.100 mètres à Gœschenen et 5.600 à Airolo.

TABLEAU DES RÉSULTATS DE LA PERFORATION …

ÉLÉMENTS de comparaison.	CÔTÉ NORD : GOESCHEN…				
	Résultats absolus obtenus par l'emploi des machines.			Résultats … par un avancement …	
	Juillet.	Août.	Septembre	Juillet.	Août.
	Ferroux.	Ferroux.	Ferroux.	Ferroux.	Ferroux.
Avancement mensuel.	113,40	119,90	125,90	—	—
— par jour en moyenne.	3,658	3,868	4,197	—	—
— par jour au maximum. . . .	6,00	6,50	6 40	—	—
Nombre de postes de forage.	103	105	109	9,08	[illegible]
— — de tir et de déblayage.	103	105	109	9,08	[illegible]
— d'heures de travail.	711h,30′	701,40	707,40	62,45	[illegible]
Temps perdu.	30h,20′	42,40	12,10	—	—
Temps employé au forage des trous. . . .	385h,25′	383,40	366,05	33,59	[illegible]
— au tir et au déblayage. .	326h,15′	318,00	341,35	78,46	[illegible]
Durée moyenne du forage de 1 mètre de trou.	1h,3′	1,5	1,3	—	—
Durée moyenne du forage de tous les trous d'une attaque.	3h,45′	3,39	3,21	—	—
Durée moyenne du tir et du déblayage par attaque.	3h,10′	3,2	3,8	—	—
Durée moyenne d'une attaque (forage, tir et déblayage).	6h,55′	6,41	6,29	—	—
Nombre total de trous percés.	1.844	1.713	1.752	162,41	[illegible]
Nombre moyen de trous percés par attaque.	17,90	16,89	16,07	—	—
Profondeur totale des trous percés.	2.192m,50	2.108,10	2.102,40	193,34	[illegible]
— totale des trous d'une attaque.	21m,28	20,08	19,28	—	—
— moyenne d'un trou.	1m,189	1,189	1,200	—	—
Longueur de toutes les attaques.	122m,45	124,80	130,80	10,80	[illegible]
Avancement obtenu.	113m,40	119,90	125,90	—	—
— moyen par attaque.	1m,101	1,142	1,155	—	—
Longueur totale des trous restée sans effet utile.	162m,02	82,74	78,76	14,29	[illegible]
Longueur totale des trous restée sans effet utile par attaque.	1m,573	0,788	0,723	—	—
Longueur restée sans effet utile par trou.	0m,088	0,047	0,045	—	—
Nombre des machines employées en tout.	618	630	654	54,50	[illegible]
Nombre moyen des machines employées par attaque.	6	6	6	—	—
Nombre total des machines ayant nécessité des réparations.	38	29	15	3,25	[illegible]
Proportion p. 100 des machines ayant nécessité des réparations.	6,15	4,60	2,29	—	—

GALERIE DE DIRECTION DU SAINT-GOTHARD.

CÔTÉ SUD : AIROLO.

Résultats absolus obtenus par l'emploi des machines.			Résultats réduits pour un avancement de 10 mètres.		
.	Août.	Septembre.	Juillet.	Août.	Septembre.
MPLOYÉES.					
is ıçois.	Dubois et François, Mac Kean.	Dubois et François, Mac Kean.	Dubois et François.	Dubois et François, Mac Kean.	Dubois et François, Mac Kean.
20	95,80	103,20	—	—	—
103	3,09	3,44	—	—	—
70	4,60	4,70	—	—	—
3	92	99	9,28	9,60	9,59
8	92	99	9,28	9,60	9,59
5,20	730.40	710,50	58,36	76,16	68,53
—	17,50	7,50	—	—	—
15,40	449	386,20	32,41	46,52	37,26
29,40	281,40	324,30	25,55	29,24	31,27
,15	1,55	1,29	—	—	—
,31	4,53	3,54	—	—	—
,47	3,4	3,27	—	—	—
,18	7,57	7,11	—	—	—
),45	1,487	1.635	160,77	155,22	158,48
7,33	16,16	16,52	—	—	—
316,98	1.685,70	1.785,42	182,15	170,74	173,01
19,63	17,78	18,03	—	—	—
1,133	1,100	1,092	—	—	—
133,65	101,20	108,10	10,51	10,56	10,47
127,20	95,80	103,20	—	—	—
1,078	1,041	1,042	—	—	—
111,78	87,28	80,92	8,79	9,11	7,84
0,947	0,949	0,817	—	—	—
0,055	0,059	0,049	—	—	—
826	644	693	66,94	67,22	67,15
7	7	7	—	—	—
58	61	43	4,56	6,37	4,17
7,02	9,47	6 20	—	—	—

Voici quelques détails sur la marche des travaux dans cette période :

Du côté nord, la perforation s'est effectuée au moyen de 6 machines Ferroux travaillant ensemble sur un affût. Les interruptions ont eu lieu en juillet, pendant 30 heures, par suite d'une émeute d'ouvriers ; en août, pendant 42 heures, par suite de réparations à la conduite d'eau principale et de la nécessité de déplacer les conduites d'air ; en septembre, pendant 12 heures, par suite de réparations aux groupes de compresseurs.

L'élargissement en calotte a été exécuté sur deux points d'attaque principaux, et sur chaque point au moyen de 4 perforateurs travaillant ensemble sur un affût. A l'étage inférieur de la cunette du stross, on a travaillé au moyen de 6 machines Ferroux sur un affût, tandis que l'étage supérieur a été poussé à la main, et au moyen de 2 Mac-Kean, qui ont été remplacées ensuite par 3 Ferroux. Pour l'enlèvement du stross et l'excavation complète, on n'a travaillé qu'à la main.

A Airolo, les 7 machines placées sur un seul affût et employées au front de taille pendant le mois de juillet étaient des Dubois et François. En août et septembre, on leur a substité des Mac-Kean. La perte de 17 heures pendant ce trimestre est due à ce que la roche a donné lieu à des pressions et nécessité un boisage soigné. L'avancement de la cunette du stross a eu lieu au moyen du travail à la main à l'étage supérieur et de machines à l'étage inférieur.

A la fin de juillet, il a fallu suspendre, dans ce chantier, les travaux de mineurs, parce que la roche y était friable et nécessitait le prompt établissement de la voûte. A la fin d'août, les travaux dans la cunette du stross ont pu être repris, mais on n'a pu avancer que lentement, à cause des mesures de prudence nécessitées par la proximité de la maçonnerie de la voûte.

Les tableaux ci-dessous rendent compte de l'état des travaux depuis l'origine jusqu'à l'année 1877.

Résultats de l'avancement, jusqu'à l'année 1877, de la galerie de direction.

DATES.	GŒSCHENEN.	AIROLO.
	mètres.	mètres.
1er janvier 1873.	46	125
— 1874.	600	596
— 1875.	1.637	1.343
— 1876.	2.810	2.599
— 1877.	3.559	3.353

Progrès quotidien de la perforation mécanique moyen et maximum.

DATES.	MOYEN.		MAXIMUM.	
	Gœschenen.	Airolo.	Gœschenen.	Airolo.
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Année 1873.	1,88	2,05	4,90	5,90
— 1874.	2,85	2,05	6.00	4,50
— 1875.	3,22	3,44	4,50	6 00
— 1876.	3,06	3,73	4.69	4,50

État des travaux d'excavation et de maçonnerie.

ÉPOQUES.	CÔTÉ DE GOESCHENEN.							CÔTÉ D'AIROLO.						
	Galerie de direction.	Élargissement de la calotte.	Cunette du Stross.	Stross.	Maçonnerie de la voûte.	Maçonnerie du pied-droit est.	Maçonnerie du pied-droit ouest.	Galerie de direction.	Élargissement de la calotte.	Cunette du Stross.	Stross.	Maçonnerie de la voûte.	Maçonnerie du pied-droit est.	Maçonnerie du pied-droit ouest.
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres	mètres.	mètres.	mètres.
Progrès total en 1872. .	18,9	—	—	—	—	—	—	101,7	39,0	—	—	13,0	—	—
— en 1873. .	581,3	265,4	101,2	7,0	—	—	—	494,3	221,0	156,0	156,0	132,0	101,9	141,6
— en 1874. .	1.037,1	395,2	498,5	134,5	88,0	103,0	88,0	747,4	396,0	56,0	79,0	184,4	—	—
— en 1875. .	1.173,5	820,2	779,2	552,3	644,8	366,0	371,0	1.255,6	489,0	689,0	295,0	500,0	1,0	588,4
Progrès prévu pour 1876.	1.248,0	1.279,0	1.311,0	1.131,0	1.158,0	1.236,0	1.236,0	1.248,0	1.279,0	1.311,0	1.131,0	1.158,0	1.236,0	1.236,0
Progrès réalisé.	1.007,0	1.166,0	777,0	968,0	637,0	1.020,0	404,0	1.020,0	1.316,0	885,0	590,0	720,0	630,0	412,0
Différence.	—241,0	—113,0	—571,0	—162,0	—521,0	—212,0	—832,0	—228,0	+ 37,0	—500,0	—541,0	—438,0	—600,0	824,0

›s énormes différences entre le résultat prévus et le ltat obtenu proviennent de la situation financière de la pagnie, qui l'oblige à réduire au minimum le nombre ouvriers, et à attendre, pour donner plus de rapidité travaux, les subventions de l'Allemagne et de l'Italie. ,e tableau ci-dessous renferme les données relatives au mier trimestre de l'année 1877.

ɪENTS des ɪvaux.	CÔTÉ DE GŒSCHENEN.					CÔTÉ D'AIROLO.				
	Janvier.	Février.	Mars.	Trimestre entier.	État à la fin de mars.	Janvier.	Février.	Mars.	Trimestre entier.	État à la fin de mars.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt	mèt.	mèt.	mèt.
lirection.	88,0	67	128	283	4.100	97	79	75	252	3.871
. . . .	101,0	113	87	303	2.949	103	102	100	305	2.766
stross.	71,9	61	81	222	2.374	108	82	91	281	1.957
. . . .	80,0	47	52	180	1.846	49	81	120	250	1.370
e de voûte. . . .	82,0	96	59	231	1.600	103	108	120	332	1.882
. pied-droit est. .	»	3	92	95	1.588	»	»	58	53	791
ı pied-droit ouest.	121,0	78	9	208	1.478	162	133	180	476	1.600
.chevé.	60,0	260	295	615	1.195	»	1.030	110	1.140	1.272

Nombre des ouvriers occupés dans le tunnel

ÉLÉMENTS DE COMPARAISON.		JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	TRIMESTRE entier.
Gœschenen.	Nombre moyen d'ouvriers.	1.232	1.176	1.371	1.260
	— maximum. . . .	1.523	1.541	1.625	1.625
Airolo. . . .	— moyen.	1.542	1.621	1.598	1.587
	— maximum. . . .	1.684	1.832	1.755	1.832

De l'étude comparative des différents perforateurs on peut tirer les déductions suivantes :

1° Une disposition a été maintenue constante, c'est celle qui détermine le va-et-vient du piston batteur, au moyen de surfaces d'inégale grandeur offertes à l'action de l'air comprimé ;

2° Le mécanisme de distribution, qui exigeait un moteur spécial et qui était absolument indépendant du mouvement du fleuret dans les appareils primitifs Sommeiller et Ferroux, est commandé par celui-ci dans le Dubois et

François, Ferroux simplifié et Mac-Kean. Les deux systèmes ont des avantages et des inconvénients. L'avantage de la distribution indépendante, c'est de permettre un dégagement facile du fleuret lorsque celui-ci s'est coincé dans la roche; le mouvement du tiroir se contiunant en effet malgré l'arrêt du piston batteur, détermine son prompt dégagement en amenant l'air sur sa face antérieure et provoquant ainsi son mouvement de recul. Mais ce système a le grave inconvénient de multiplier les organes de l'appareil, d'exiger des transmissions de mouvement nombreuses et délicates, et d'augmenter ainsi les causes de réparations. La question de simplicité étant capitale, on a décidé de l'adoption du second système. Le mécanisme Dubois et François devant être écarté à cause de sa lenteur, l'hésitation n'est possible qu'entre le Mac-Kaen, qui supprime l'étranglement à l'entrée et à la sortie de l'air, mais au prix d'une transmission relativement compliquée, et le Ferroux simplifié, dans lequel le mouvement se transmet au distributeur sans le secours d'aucun organe intermédiaire: les deux appareils fonctionnent également bien. La distribution Turrettini est très-ingénieuse, mais paraît trop délicate pour être recommandée.

Mouvement de rotation. — Dans le Sommeiller, le Dubois et François, le Ferroux, une roue à rochet servant d'intermédiaire entre l'arbre moteur et la tige du fleuret, transmet à ce dernier le mouvement de rotation. Le système exige l'adjonction d'un moteur spécial : celui-ci disparaît dans les trois autres types, où la tige du piston, au moyen de rainure hélicoïdale, pratiquée sur la tige du fleuret (Ferroux simplifié, Turettini) ou de vis et pignons hélicoïdaux (Mac-Kean) commande elle-même le mouvement. C'est un progrès important au point de vue de la simplicité de l'appareil, mais l'emploi forcé d'un encliquetage pour déterminer le sens de la rotation est toujours susceptible de critique.

ıvancement et recul. — En ne considérant que le point vue mécanique, et laissant de côté la question de savoir est avantageux ou non de faire exécuter ces mouvements par l'ouvrier, le Turrettini présente une supériorité ontestable sur tous les autres appareils, eu égard à la ; à la simplicité du mécanisme, et à l'habileté avec laılle le choc du fleuret contre la roche, effet nuisible en -même, a été amené à produire un résultat utile à la ırche de la machine. Un réel progrès est aussi la supıssion des longerons à crémaillère qui ne permettaient ıvancer que d'une quantité déterminée *à priori*, et non s selon la rapidité d'approfondissement du trou instant r instant. L'application constante du fleuret contre la che au moyen de la pression de l'air comprimé (système ırroux), moyen parfait au point de vue théorique, impose alheureusement la nécessité de doubler la longueur de ıppareil, par l'adjonction du cylindre propulseur.

Pour achever la comparaison entre les divers types, j'ai ıuni dans le tableau ci-dessous les principales données ımériques relatives à chacun d'eux.

	SOMMEILLER.	DUFOIS et FRANÇOIS.	FERROUX.	FERROUX simplifié.	MAC-KEAN.	TURRETTINI.
Longueur sans fleuret.	2m,90	2,20	3,10	3,10	0,995	2,00
Course maxima du piston. . .	0m,400	0,292	0,150	0,150	0,120	0,180
— moyenne du piston. .	0m,250	0,250	0,120	0,120	0,100	»
Pression de l'air.	4atm.1/2	2 1/2	5	5	5	5
Longueur maxima dont peut avancer le cylindre sur le châssis.	0m,800	0,800	0,550	0,550	0,300	»
Nombre de coups par minute.	250	150	400	400	800	800
Consommation d'air par coup de piston.	1lit,20	1,63	2,32	1,40	0,59	1,80
Poids total.	250k	220	280	180	70	»

§ 8. Compresseurs d'air.

Le premier de ces appareils, inventé par Sommeiller, et dit compresseur à colonne, se compose essentiellement d'un

tube en U (*fig.* 1, Pl. XI) à branches inégales, dont la p
longue est en communication avec un réservoir d'eau, et
plus courte avec un réservoir d'air comprimé. Ce tube e
muni de quatre soupapes; les deux premières *m*, d'alim
tation, et *n*, de décharge, sont au même niveau, et leurs mo
vements sont commandés par une petite machine à colon
d'eau. Les deux autres, S d'aspiration, *t* d'équilibre, ét
blissent ou interrompent la communication entre la chamb
AB et le réservoir R d'air comprimé. La soupape *m* éta
ou interrompt la communication entre les chambres F et
du siphon. Enfin, d'autres petites soupapes automatiques
servent, concurremment avec la soupape S. à l'aspirati
d l'air extérieur. Ces soupapes sont toujours ouvertes
c'est l'eau, dans son mouvement ascendant, *qui les appliq*
contre leur siége.

A l'origine du mouvement, l'eau arrive dans la branc
la plus courte du siphon, au niveau de la soupape de d
charge, et la chambre B est remplie d'air à la pression a
mosphérique. Les soupapes de décharge, d'équilibre
d'aspiration sont fermées, la soupape d'alimentation e
ouverte, ainsi que les soupapes *o*. L'eau, s'élevant dans l
chambre de compression, ferme les soupapes *o* à mesur
qu'elle les rencontre, et quand la tête de la colonne d'eau
dépassé la dernière, l'air renfermé dans la chambre B s
comprime, et lorsque sa pression arrive à égaler celle qu
existe dans le réservoir R, la soupape *t* est soulevée, e
l'air pénètre dans le réservoir. Quand tout l'air comprim
a été ainsi refoulé, c'est-à-dire quand l'eau a rempli en-
tièrement la chambre de compression, la marche ascen-
dante de la colonne s'arrête, les soupapes d'équilibre et
d'alimentation se ferment, en même temps que s'ouvrent
celles de décharge *n* et d'aspiration S. L'eau, qui était
dans la chambre B, libre de s'enfuir, s'échappe par la sou-
pape *n*, les soupapes *o*, découvertes par le mouvement
descendant de l'eau, s'ouvrent et servent en même temps

soupape S, à l'aspiration de l'air extérieur. Quand a atteint le niveau de la soupape de décharge, un ement inverse a lieu, et la période de compression nmence.

ec cet appareil, on comprimait l'air à 6 atmosphères, il exigeait une chute d'eau de 26 mètres de hauteur, ant 70 litres par seconde : pour un volume théorique ndré par minute de 5^{m3},200, et une vitesse de 2 im-ons et demie par minute. Il avait le grand inconvé-t de ne donner que des coups de bélier, ce qui est istreux pour la solidité des pièces, et de nécessiter, à que coup, l'évacuation, sans aucun résultat utile, d'un ume d'eau considérable. Son rendement n'était que de 100, et de plus, lorsque les eaux n'étaient pas pures, soupapes fonctionnaient très-mal.

Compresseur à trombe (*).

Pour remédier à ces inconvénients, Sommeiller imagina nouveau compresseur, dit compresseur hydraulique à mbe (*fig.* 2, Pl. XI) ; il se compose d'un système de deux stons P solidaires entre eux, qui se meuvent dans deux cy-idres horizontaux C. Ces cylindres se redressent verticale-ent à l'une de leurs extrémités pour former la chambre de mpression de l'air ; l'autre extrémité de chaque cylindre est pas pourvue de fond, de sorte que l'observateur peut ivre le mouvement du piston dans le cylindre. L'espace mpris entre les deux pistons est rempli d'une certaine quan-té d'eau, qui peut s'élever, par suite du mouvement des pis-ns, jusque dans la chambre de compression. Si donc le ouble piston est à fond de course à droite, la chambre de ompression de gauche est remplie d'eau, et l'air comprimé hassé du réservoir ; au contraire, l'eau est descendue au

(*) *Relazione della Direzione termine alla Direzione generale delle strade ferrate dello stato.* Torino, 1863.

point le plus bas qu'elle peut occuper dans la chamb compression du cylindre de droite, laquelle est re d'air à la pression atmosphérique. Dans le mouveme sens inverse du piston, ou de droite à gauche, l'eau cha par le piston de droite remonte dans le compresseu droite, comprimera l'air et l'enverra dans le réservoir; même temps, le piston de gauche fuyant devant l'e celle-ci le suit dans son mouvement, s'abaisse dans le co presseur de gauche, lequel se remplit d'air à la pres atmosphérique. Quand le piston arrive à fond de course, mouvement recommence en sens inverse. Cette machi offre des avantages évidents sur la précédente; le choc l'eau contre les parties fixes est considérablement atté puisque ce n'est plus une chute d'eau qui produit la co pression, mais au contraire un refoulement; la compress de l'air est constante, puisque la machine est à double ef Enfin au lieu que, dans le premier cas, on dépensait à cha coup une quantité constante d'eau, c'est ici la même qu tité d'eau, emprisonnée entre les deux cylindres, qui pr duit indéfiniment le même travail.

Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de faire la de cription des moteurs, roues hydrauliques ou turbines, qui o été installées tant au mont Cenis qu'au Saint-Gothard. So but est de traiter des principaux moyens mécaniques dont ce travaux ont nécessité l'invention ou le perfectionneme non de ceux dont ils ont seulement déterminé le choix. I suffit, en ce cas, de détails succincts sur les moteurs e l'organisation générale des chantiers.

Les moteurs qui mettent en mouvement les compresseu à trombe sont des roues hydrauliques à augets; elles so au nombre de 7, et disposées les unes au-dessous des autres, de façon que le canal de fuite de l'une soit le canal d'ar rivée de l'autre; on utilise ainsi une chute d'eau de 44 mè tres, débitant 1 mètre cube par seconde. Les roues ont u diamètre de 6 mètres, une largeur de 5 mètres; elles mar-

.t à la vitesse de 6 tours par minute. Le piston est ar-
.é directement à la bielle, sans intermédiaire de tige,
a bielle peut s'attacher en des points différents de la
; motrice, ce qui permet d'allonger ou de raccourcir la
rse des pistons. Chaque roue conduit deux pistons.
.'air, en sortant des compresseurs, est amené dans un
;rvoir servant à régulariser la pression. La production
l'air est continue, et la dépense (ou le travail des per-
iteurs) est intermittente. Il arriverait donc que la pres-
1 dans les réservoirs pourrait augmenter au delà des
iites de résistance; pour remédier à cet inconvénient,
adapte à l'extrémité de la conduite, près du front de
lle, une soupape de sûreté qui s'ouvre dès que l'air dé-
sse la pression de 6 atmosphères; l'air s'échappe et sert
a ventilation de la galerie.

Compresseurs du Saint-Gothard.

Les premiers compresseurs employés au Saint-Gothard,
l'origine des travaux, furent des compresseurs à trombe,
.ais disposés de façon qu'un seul piston déterminât la
)mpression de l'air dans les deux cylindres verticaux,
insi que l'indique la *fig.* 3, Pl. XI. Les aménagements
our les dérivations d'eaux n'étant pas terminés, on dut
;courir d'abord à des machines à vapeur pour actionner
;s compresseurs. On fit agir le moteur sur la tige du
iston au moyen d'un engrenage; ce mode de transmis-
ion, outre le danger de rupture, offre encore l'incon-
'énient d'une inégale usure des dents de l'engrenage, par
uite de l'inégalité des efforts qui s'exercent sur elles; cet
;ffort, nul au départ, va en croissant jusqu'au point où
.es clapets s'ouvrent quand la pression de l'air comprimé
atteint celle qui existe dans le réservoir et demeure ensuite
constante jusqu'à la fin de la course. Pour remédier à ces
inconvénients, on installa des compresseurs à attaque di-

recte, et on les munit de forts volants, pour pouvoir ma-
cher à détente, la question d'économie de combustible ét
de la plus haute importance. On peut remarquer aussi q
les compresseurs, loin d'exiger une régularité absol
demandent que la marche soit ralentie à la fin de chaq
course, pour que la fermeture des clapets s'opère pl
facilement.

Les deux cylindres à vapeur ont $0^m,50$ de diamè
$1^m,20$ de course, et l'on marche à une détente de $\frac{1}{2}$. Le di
mètre du volant est de 5 mètres, son poids 6.500 kil
La vitesse minimum de la machine est de 5 tours par m
nute; elle peut atteindre celle de 20 tours. Le corps d
pompe du compresseur a $0^m,45$ de diamètre, et la co
est la même que celle du piston moteur, puisque l'acti
est directe. Pour éviter les inconvénients de l'action co
rosive de l'eau, on construit le piston en laiton, et la t
est également recouverte de laiton. L'air entraîne avec l
de l'eau dans les réservoirs; pour ramener cette eau da
les compresseurs, du fond du réservoir part un petit tuya
en fer étiré, sur lequel se trouve un petit robinet. Ce tuy
se subdivise en 4 branches qui viennent chacune about
4 bacs de fonte *b* boulonnés sur les compresseurs contre l
soupape d'aspiration. En vertu de la pression de l'air, l'ea
est refoulée dans ces bacs et aspirée avec l'air dans l
compresseurs. Un tuyau de trop-plein *t't'*, en forme d
siphon, sert à déverser l'eau qui pourrait s'accum
dans les bacs *bb*, dans le cas où la soupape d'aspira
viendrait à s'enclouer.

Le volume d'air comprimé par coup de piston sim
était de 43 litres à une pression de 3 atmosphères, press
suffisante, ainsi qu'on l'a vu, pour les perforateurs Dub
et François, qui étaient en usage à ce moment. Pour 25
révolutions de l'arbre du volant ou 50 coups de piston d
compresseurs, on obtenait l'air comprimé nécessaire po
alimenter 12 perforateurs, c'est-à-dire $2^{m^3},150$ d'air.

La surface du piston compresseur étant $0^{m2},1590$, le travail utile à produire par coup de piston du cylindre à vapeur est 3.809 kilog., d'après les diagrammes pris sur les compresseurs. La surface du piston moteur est de $0^{m2},1963$; son diagramme accuse un travail de 4.534 kilogrammètres, l'effet utile est, par mètre, $\frac{3.809}{4.534} = 0,84$.

Quand les installations des moteurs hydrauliques furent terminées, on remplaça ces compresseurs par des compresseurs à piston à action directe, supprimant ainsi le matelas d'eau et réduisant, par suite, les dimensions des appareils. C'est de ces installations qu'il reste à s'occuper.

A Gœschenen, on a commencé par installer 3 turbines pour une chute d'eau de 85 mètres, avec un volume d'eau de 300 litres par seconde, c'est-à-dire chacune pour 200 chevaux environ, et la conduite a été établie en grandeur suffisante pour faire fonctionner au besoin une quatrième turbine. Chaque turbine met en mouvement un groupe de 3 compresseurs Colladon, fournissant chacun, par minute, 4 mètres cubes d'air comprimé à 7 atmosphères. La chute d'eau a été prise sur la Reuss du Gothard. Cette rivière a un débit qui n'est jamais inférieur à 1 mètre cube par seconde; sa pente est d'environ 10 p. 100 et a permis de préparer une chute utile de 85 mètres, en plaçant le barrage à 926 mètres environ en amont de la bouche du tunnel. A 130 mètres en aval de ce barrage, un réservoir dépotoir, contenant 100 mètres cubes, et divisé en 5 compartiments, sert à faire le départ des sables et graviers et à retenir les corps flottants. Le dernier compartiment donne issue à l'eau par une conduite en tôle ayant $0^{m},85$ de diamètre, longue de 800 mètres, qui descend jusqu'au bâtiment des turbines, et leur répartit un volume total d'environ 900 litres par seconde.

CÔTÉ D'AIROLO.

A Airolo, la disposition des compresseurs est la même;

mais les trois turbines fonctionnent sous une chute d'eau de 165 mètres, avec un débit de 165 litres pour chacune, équivalant à une force de 210 chevaux.

La conduite d'eau principale qui amène l'eau au bâtiment des turbines a, depuis le point où elle se détache de la Trémola jusqu'à l'extrémité de la conduite de tuyaux une longueur de 1.810 mètres. Les 35 premiers mètres de la conduite, à partir de la Trémola, consistent dans un canal en maçonnerie de $0^{m2},70$ de section; en sortant de ce canal, l'eau entre dans une conduite souterraine en bois établie à une profondeur moyenne de $1^{m},50$ et d'une longueur de 778 mètres. En quittant ce canal, l'eau suit sur une longueur de 157 mètres le lit du torrent Chiesso, qui a été élargi, approfondi et muni de digues partout où le besoin s'en est fait sentir. Après ce parcours à ciel découvert, l'eau arrive au réservoir, où commence la conduite en fer de $0^{m},62$ de diamètre et 840 mètres de longueur. C'est ce réservoir qui est placé à 180 mètres plus haut que les moteurs; on a dû employer une telle hauteur de charge afin de mieux utiliser le débit, qui n'est que de 300 litres par seconde. Cette hauteur est un maximum pour les roues hydrauliques. Les turbines ont $1^{m},20$ de diamètre, 100 aubes, et font 350 tours par minute. Elles sont fondues d'une seule pièce avec leurs aubes, et en bronze; sous ces hautes pressions, le bronze dure plus longtemps que le fer, la fonte et l'acier.

Le débit de la Trémola étant parfois insuffisant pour mettre toutes les turbines en mouvement, on a dû chercher une autre ressource pour augmenter la force motrice nécessaire à la marche des compresseurs. Deux moyens se présentaient comme pouvant donner les résultats les plus efficaces. C'étaient d'abord le barrage du lac Sella (voir la coupe géologique), qui avait permis d'emmagasiner quelques milliers de mètres cubes d'eau pour compléter, en cas de sécheresse, le débit de la Trémola, sans qu'il eût

été besoin pour cela d'apporter aucun changement aux turbines et à l'installation en général. En second lieu, c'était la prise d'eau dans le Tessin, qui peut donner presque toute l'année 1 mètre cube d'eau par seconde, mais qui nécessitait la construction d'un long canal, ainsi que des modifications aux moteurs. C'est à cette dernière combinaison qu'on s'est arrêté, et l'on a abandonné l'idée du barrage du lac Sella, comme ne promettant pas un résultat assez certain, surtout en hiver où, à la hauteur de 2.231 mètres, le lac devient très-difficilement accessible, et où l'eau peut se trouver en grande partie congelée.

La prise d'eau dans le Tessin a lieu à la cote de 1.256 mèt. A partir de ce point, on a établi une canalisation en bois, avec pente de 5,5 p. 100, et avec la section de $1^m,00 \times 0^m,60$ qui est nécessaire pour débiter 1 mètre cube par seconde. Ce canal, dont la longueur est de 3.077 mètres, traverse la gorge de la Trémola sur un aqueduc et amène l'eau à un dépotoir d'où une conduite métallique, de $0^m,75$ de diamètre et d'environ 700 mètres de longueur, conduit l'eau aux turbines sous une pression de 90 mètres. Pour utiliser cette chute, qui n'est que la moitié de celle de la Trémola, on a établi, sur chaque arbre vertical des roues tangentielles déjà existantes, une seconde turbine, superposée à la première, de $0^m,75$ de diamètre. Ces nouvelles turbines reçoivent l'eau du Tessin quand celle de la Trémola fait défaut; ce nouvel établissement, qui représente une force motrice d'environ 1.000 chevaux, permet d'augmenter considérablement la production en air comprimé.

Compresseurs d'air à action directe pour 7 atmosphères (*).

Les raisons qui ont décidé la substitution des compresseurs à action directe, aux compresseurs à matelas d'eau

(*) Pernolet. *Application des moyens mécaniques au percement des galeries au rocher.*

sont énumérées dans l'extrait suivant du rapport trimes

L'expérience a prouvé que des pompes à mouvem alternatif, dont le piston doit mettre en jeu une mass quide considérable ne sont pas susceptibles d'oscilla rapides. Dès que la vitesse dépasse une limite assez r treinte, une augmentation du travail moteur ne prod presque aucun effet utile quant au volume d'air obt Au mont Cenis, on avait dû limiter à huit et même à le nombre des révolutions des manivelles qui faisaient a les bielles des pistons, et par compensation les comp seurs employés devaient avoir des dimensions excessi D'un autre côté, l'expérience a prouvé que dans les p de montagnes, les moteurs hydrauliques les plus con nables à utiliser sont les turbines à révolutions rapid associées à de hautes chutes. S'il avait fallu appliquer Gœschenen et à Airolo des engins semblables à ceux d mont Cenis, on aurait dû interposer entre les turbines e les compresseurs, de nombreux et puissants engrenage pour réduire convenablement la vitesse, d'où seraient r sultés une perte de travail, des chances d'accidents, et d volumineux appareils de transmission. L'emploi de turbines nécessitant celui de compresseurs à mouvements rapides il fallait prévenir en même temps le réchauffement de l'ai qui aurait entraîné une perte notable de l'effet utile, on a remédié à ces inconvénients comme il sera dit plus loin.

Si aucun moyen n'est employé pour prévenir l'échauffement de l'air, la réaction élastique de ce dernier contre la face du piston, pour une diminution de volume déterminée, s'accroît plus rapidement que ne l'indique la loi de Mariotte, et si V est le volume du cylindre, la tension de l'air atteint m atmosphères avant que ce volume ait été réduit à $\frac{V}{m}$. Ainsi le chemin décrit par le piston, pendant l'acte de la compression, diminue par l'effet du réchauffement; et l'expérience ayant prouvé que la pression résis-

e ce piston conserve à peu près la
qui correspond à la loi de Mariotte,
l dépensé pour comprimer l'air
mosphères diminue quand l'air
nin parcouru par le piston
nt de l'air comprimé aug-
e la durée de cette période,
maximum, l'excès de travail dé-
de compense et au delà l'économie
inution de durée de la première; ce
u moment où l'air sort du compresseur,
de le refroidir; mais bien pendant la période
compression dans le cylindre, pour obtenir une
omie de travail.

En outre, les chantiers du Gothard étant à des altitudes de 1.100 mètres environ, il convient de faire intervenir dans cette discussion, l'influence de la diminution de pression de l'air atmosphérique. La hauteur barométrique n'est plus en moyenne que de $0^m,66$, et les manomètres indicateurs de tension étant gradués en atmosphères normales, dont l'unité correspond à une hauteur barométrique de $0^m,760$, l'appareil, pour comprimer le gaz à *m* atmosphères, devra le prendre, non pas à la tension de 1 atmosphère, mais à celle de $\frac{66}{76}$ d'atmosphères. Il en résulte d'abord un accroissement de l'élévation de température du gaz, ce qui exige des moyens plus énergiques de refroidissement, et en second lieu, un accroissement relatif du volume de l'espace nuisible, car ce volume étant une quantité constante, son rapport à celui $\frac{66}{76}$ de l'air aspiré dans le cylindre, est d'autant plus grand que la pression barométrique est plus faible.

Le refroidissement de l'air comprimé a été obtenu dans les compresseurs Colladon au moyen de l'injection d'eau à l'état pulvérulent et d'une circulation d'eau à l'intérieur du piston et de sa tige.

Le premier de ces compresseurs, calculé pour une pres-

sion effective de 6 atmosphères, se compose essentiellement d'un cylindre horizontal, sur les deux fonds duquel sont fixées les soupapes d'aspiration *a* et de refoulement *r* (*). Le piston qui se meut dans le cylindre et sa tige sont rafraîchis de la manière suivante (*fig.* 4, Pl. XI). La tige du piston *t* qui est creuse, enveloppe un tube *t'* invariablement fixe à sa partie postérieure; un tuyau fixe *t''* pénètre à l'intérieur de ce tube et amène constamment de l'eau. Celle-ci se répand dans le tube, arrive à son extrémité, puis changeant le sens de sa marche, vient occuper l'espace annulaire compris entre le tube et la tige, rencontre un diaphragme qui l'oblige à pénétrer dans le piston. L'eau, après avoir ainsi refroidi la tige et le piston, continue son chemin et s'échappe par un tube en caoutchouc τ fixé à la partie postérieure de la tige.

Quant à la circulation d'eau dans les fonds et autour du cylindre, elle s'opère au moyen d'une petite pompe établie latéralement au cylindre, et la disposition est la même que celle adoptée dans les cylindres à vapeur à double enveloppe.

L'injection d'eau pulvérulente se fait à chaque extrémité du cylindre, au moyen de 2 burettes en bronze (*fig.* 1, Pl. IX), fermées à leur partie inférieur par un disque de laiton percé de 2 trous inclinés *oo* débouchant l'un vis-à-vis de l'autre par un orifice de 1/2 millimètre de diamètre; ces 2 jets d'eau à haute pression qui pénètrent ainsi dans le cylindre, se rencontrent et sont pulvérisés par le choc.

Les compresseurs au nombre de 12, sont divisés en 4 groupes, commandés chacun par une turbine au moyen d'engrenages coniques qui transmettent le mouvement à un arbre à 3 coudes, auquel sont attelées les bielles des compresseurs. Des embrayages sont disposés de façon que:

(*) Un ressort à boudin *b* maintient la soupape d'aspiration constamment appliquée contre la paroi du cylindre, et l'air atmosphérique, avant de pénétrer, séjourne dans une chambre *d*.

1° on puisse isoler l'un quelconque des moteurs sans arrêter la marche des 3 compresseurs qu'il dessert, ceux-ci recevant le mouvement du moteur voisin ; 2° on puisse isoler l'un quelconque des compresseurs de chaque groupe sans être obligé d'arrêter la marche du moteur de ce groupe, de sorte que, dans le cas le plus défavorable, lorsqu'on aurait à la fois à isoler un compresseur et un moteur appartenant à 2 groupes différents, il resterait toujours en marche 11 compresseurs.

Les turbines font en moyenne 300 tours par minute, et les compresseurs marchent à 70 tours; le diamètre du piston est de 0m,46 et la course 0m,45, le rendement est d'environ 70 p. 100. Aux avantages déjà signalés de ce système de compresseur sur ceux employés au mont Cenis, il faut ajouter celui non moins important dans le cas actuel de la facilité d'installation. Pour loger les 7 roues hydrauliques et les 28 compresseurs de Bardonnèche, on avait dû construire 7 bâtiments distincts, ayant chacun une surface de 300 mètres carrés, et on recueillait par heure 570 mètres cubes d'air à la pression de 6 atmosphères donnant par sa détente 4.000 mètres cubes environ. Au Saint-Gothard, 4 turbines actionnent 12 pompes de petit volume à grande vitesse, produisant 1.000 mètres cubes par heure à 7 atmosphères, ce qui fournit 8.000 mètres cubes à la pression ordinaire, et le tout est logé dans un bâtiment qui n'a que 350 mètres carrés de surface. Cette considération était d'une grande importance à Gœschenen surtout, où l'emplacement faisait absolument défaut pour les ateliers : on a dû les établir, en effet, sur des déblais, au fur et à mesure que ceux-ci étaient retirés du tunnel, et jetés dans le lit de la Reuss.

Les besoins du service exigèrent plus tard l'adjonction, à chaque tête, d'un nouveau groupe de compresseurs, avec des dispositions différentes de celles déjà décrites. Chaque nouveau groupe comprenait :

1° Une turbine à axe horizontal, système Girard, à 5 mètres de diamètre extérieur, avec son manteau, sa vanne et son injecteur, appareil de réglage marchant sous une charge nette de 73 mètres d'eau, et réalisant avec un volume d'eau de 480 litres par seconde, une force de [illegible] chevaux sur l'arbre de la turbine, à la vitesse de 70 tours par minute.

2° Deux compresseurs, montés sur leurs bâtis, et qui portent l'extrémité de l'arbre de la turbine, ces compresseurs sont, au moyen de bielles, actionnés par des manivelles placées à l'extrémité de l'arbre de la turbine.

Voici quelques détails relatifs à ces compresseurs :

Chacun d'eux a un diamètre de $0^m,70$ et une course de $0^m,90$; les soupapes d'aspiration et de compression sont reliées par des tuyaux de $0^m,15$ de diamètre, à la canalisation de $0^m,20$ de diamètre, qui rejoint un sécheur d'air placé devant chaque appareil. Les soupapes ainsi que leurs cages, sont en bronze de première qualité ; les écrous servant à les fixer sont en acier. Les cages et les soupapes peuvent s'enlever et se replacer en très-peu de temps, sans qu'il soit nécessaire pour cela d'enlever aucune autre pièce des cylindres. Les tiges des pistons, les bielles et les clavettes sont en acier, les boulons de fondation, les boulons des couvercles, ceux des glissières et des vis sont en fer forgé. Les pistons et leurs tiges peuvent s'enlever par la partie postérieure, sans qu'il soit nécessaire pour cela de démonter le couvercle, placé en avant du côté des bielles. Tous les appareils et leurs accessoires ont été construits d'une façon identique, de façon que les mêmes pièces peuvent s'adapter ou s'échanger entre elles, pour la facilité du service ou des réparations ; toutes les pièces sans exception, sont repérées par des lettres et des chiffres en creux ou en relief, de sorte que le montage peut s'opérer facilement en toute occasion. Les matériaux des fondations sont en granite compacte.

Compresseur Colladon pour 14 atmosphères (*).

Dès la seconde année des travaux du tunnel, des essais faits avec une locomotive ordinaire de 12 chevaux, mue par de l'air comprimé à 7 atmosphères, avaient démontré les nombreux avantages qu'on pouvait attendre de ce mode de traction soit aux abords, soit à l'intérieur du tunnel. A la suite de ces essais, on décida l'emploi de deux locomotives spéciales, destinées à fonctionner par de l'air comprimé à 14 atmosphères. Pour obtenir de l'air à cette tension, il fallait des compresseurs spéciaux perfectionnés, pourvus d'une canalisation séparée et de réservoirs très-résistants. Il fallait aussi pourvoir à leur mode d'installation, et aux moyens de leur transmettre une puissance hydraulique par de nouveaux moteurs ou s'il était possible avec les 4 turbines établies aux ateliers de compression. Les études préliminaires ont fait reconnaître la possibilité de loger, dans les salles des anciens groupes, ces nouveaux compresseurs, et de les faire mouvoir par les turbines déjà existantes.

Les deux influences les plus nuisibles pour une marche à haute pression sont celles des espaces nuisibles et de l'échauffement de l'air. Or, dans les compresseurs à 7 atmosphères, l'injection d'eau pulvérulente suffit pour maintenir la température au-dessous de 30 degrés, en marchant à 70 tours par minute, et il n'est pas nécessaire d'utiliser la circulation d'eau à l'intérieur du piston. Cette économie d'eau est un avantage d'autant plus grand qu'il est essentiel d'obtenir le refroidissement avec une quantité d'eau limitée. L'eau pure n'use pas les surfaces frottantes, mais l'eau que l'on emploie est rarement pure, et les particules sableuses qu'elle contient usent les garnitures des pistons et les joints des soupapes; si on n'a besoin que d'une faible

(*) *Rapport trimestriel*, n° 16.

quantité d'eau, il devient possible de la filtrer. Des expériences ont démontré que, pour des tensions inférieures à 10 atmosphères, et une vitesse de piston de 120 cen[t.] par minute, on peut, avec une quantité d'eau égale au millième du volume de l'air aspiré, réduire le réchauffement du gaz pendant la compression à 30°.

Quant à l'influence de l'espace nuisible, on peut facilement démontrer qu'elle augmente avec le degré de compression. En effet, soit L la longueur totale du cylindre, λ la distance entre le fond du cylindre et le piston à l'extrémité de sa course, m la tension. L'air acquerra cette tension quand le piston aura parcouru la fraction $\left(L-\frac{1}{m}L\right)$ de sa course, et le volume théorique de l'air emmagasiné sera $\frac{1}{m}LA$, A étant la section du cylindre; mais ce volume doit être diminué de la quantité λA, qui représente le volume de l'espace nuisible, et son expression devient $A\left(\frac{L}{m}-\lambda\right)$.

Or, pour un compresseur donné, les longueurs L et λ restent invariables, quelle que soit m; mais la quantité $\frac{L}{m}$ varie en raison inverse de m, et le volume introduit à chaque course subit une réduction d'autant plus forte que m est plus grand. La description suivante de l'appareil montre comment on a remédié à ces inconvénients.

Le cylindre CC (*fig*. 6) est fixé horizontalement sur un bâti spécial AA. Il est à double enveloppe, et l'espace intermédiaire R reçoit un courant d'eau froide au moyen des tubes d'arrivée et de sortie U. Les fonds du cylindre ont la forme d'un tronc de cône, ce qui facilite notablement l'adaptation des soupapes d'arrivée et de sortie d'air S′ et S, et permet de leur donner un plus grand diamètre. Le piston P est terminé par deux surfaces en forme de tronc de cône, et

sa garniture se compose de deux larges cercles concentriques formant ressort. La tige du piston N se prolonge à l'arrière, et est entourée, de ce côté, d'une enveloppe N'. L'eau d'injection pulvérulente arrive dans l'intérieur du cylindre par 4 tubes latéraux I (*fig.* 7), munis de pulvérisateurs à 2 trous obliques convergents ; à chacun de ces tubes d'arrivée I est adapté un robinet destiné à régler l'arrivée de l'eau d'injection. L'aspiration de l'air se fait par les soupapes S', placées au bas des couvercles, et le refoulement par les soupapes supérieures S, d'où il se rend au réservoir par le tube *t*. Cette disposition donne des joints plus étanches et diminue l'influence des espaces nuisibles. Chaque soupape d'aspiration S' est contenue dans une boîte à soupape fixée sur la partie inférieure des couvercles. Cette boîte porte une bague extérieure à laquelle on peut adapter au besoin, par un joint hermétique, un couvercle fermé, muni d'une tubulure pour relier ce couvercle et la boîte à soupape avec les conduites de l'air comprimé, destiné à la perforation mécanique : cette jonction peut s'opérer dans un temps très-court. Quand on l'établit, les compresseurs pour 14 atmosphères aspirent de l'air à 7 atmosphères, et le poids d'air qu'ils emmagasinent est considérablement augmenté.

A chacun des 4 groupes de 3 compresseurs à 7 atmosphères existant déjà, on a adjoint un compresseur à 14 atmosphères. La transmission de mouvement s'est opérée de deux manières différentes. A Gœschenen, les 3 compresseurs sont d'un même côté de la roue conique montée sur l'arbre moteur ; on a utilisé le bout libre de cet arbre en le reliant à la tige du nouveau compresseur, qui a ainsi son bâti parallèle à ceux des appareils préexistants, et qui exécute, par suite, un nombre d'oscillations égal à celui des compresseurs du groupe auquel il a été adjoint.

A Airolo, le nouveau compresseur est symétrique par rapport à l'arbre moteur de la pompe centrale du groupe

auquel il doit être relié; les deux tiges de piston sont dans le prolongement l'une de l'autre et sont reliées entre elles d'une façon rigide, de la manière suivante : les traverses des tiges des compresseurs à 7 atmosphères ont 4 bras distincts; 2 de ces bras sont horizontaux et reposent sur des glissières; les deux autres forment un angle aigu avec les premiers et servent à fixer les extrémités de 2 tiges parallèles qui transmettent le mouvement de va-et-vient au piston du nouveau compresseur. L'obliquité des bras auxquels sont fixées ces 2 tiges était nécessaire pour que l'une des tiges pût se mouvoir au-dessus de l'arbre à 3 coudes, tandis que l'autre a pu trouver sa place au-dessous de cet arbre.

Le rendement de ces compresseurs, pour les diverses pressions, est donné dans le tableau ci-dessous :

PRESSIONS en atmosphères absolues.	TEMPS.	NOMBRE de tours.	RENDEMENT.
6 à 7	15 minutes.	960	0,78
7 à 8	16 —	1.022	0,74
8 à 9	18 —	1.154	0.66
9 à 10	20 —	1.280	0,59

Le rendement calculé est celui du poids de l'air emmagasiné après n courses, comparé à celui du volume entier d'air aspiré. On s'est servi de 2 compresseurs engendrant chacun, par tour de l'arbre, un volume d'aspiration de 50 litres. Le refoulement s'opérait dans 4 réservoirs d'une capacité totale de 65^{m3}. La pression initiale n'étant que de ... d'atmosphères, il fallait théoriquement 746 tours pour que la tension dans les réservoirs fût égale à celle d'une atmosphère normale, le nombre des révolutions de l'arbre moteur étant de 65 par minute.

A sa sortie des compresseurs, l'air est reçu dans 4 réservoirs en tôle ayant la forme de chaudières et cubant chacun 68^{m3}; au lieu d'établir la soupape de sûreté sur ces

réservoirs, on l'a installée sur la conduite même et à peu de distance du front de taille : de cette façon, l'air qui s'échappe, quand la pression normale est dépassée, sert à l'aérage des travaux.

Les tuyaux de conduite sont en fonte de $0^m,20$ de diamètre jusqu'au premier chantier d'élargissement, puis en fer étiré de 0,10 de diamètre jusqu'à la galerie d'avancement; ils sont assemblés au moyen de collets plats tournés comprenant entre eux un anneau en caoutchouc. Pour éviter les pertes de temps occasionnées par l'allongement de la conduite, on a établi sur toute la longueur de la galerie de direction une double conduite en fer étiré de $0^m,06$ de diamètre, l'une fournissant l'air pendant qu'on allonge l'autre. Chaque conduite est fractionnée par des robinets permettant d'isoler des longueurs réduites pour les travaux de réparation, sans perdre l'air contenu dans le reste de la conduite.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX

I. — LABORATOIRE D'ANGERS.

Années 1876 à 1878.

Travaux de M. BROSSARD DE CORBIGNY, ingénieur des mines. Extr[illegible]

§ 1er. — HOUILLES.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Matières volatiles. . . .	16,7	16,9	15,0	16,2	19,0	17,8	12,8	[illegible]
Carbone fixe.	73,6	67,1	65,0	64,8	65,5	72,4	73,7	[illegible]
Cendres.	9,7	16,0	20,0	19,0	15,5	9,8	13,5	[illegible]
Total.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,[illegible]
Nature du coke.	aggloméré.	pulvérulent.	un peu boursouflé.	aggloméré.	pulvérulent.	aggloméré.	aggloméré.	[illegible]
Plomb réduit par 1 gr. de houille.	27,9	26,2	22,0	25,9	»	29,1	28,9	[illegible]

1. Mine de Montrelais (Loire-Inférieure).
2. Mine de Layon-et-Loire (Maine-et-Loire), puits Saint-Aubin.

Il s'agissait de comparer ces deux charbons au point de vue de la fabrication des agglomérés. Le premier est le meilleur.

3. Puits de recherche de la mine de Cezais (Vendée), près la ferme de l'Épi[illegible] Profondeur 10 mètres. Veine du toit.
4. Puits de recherche de la mine de Cezais (Vendée), près la ferme de l'Épi[illegible] Profondeur 10 mètres. Veine du mur.
5. Charbon du puits de recherche des Barres, concession de Layon-et-Loire.
6. Mine de Désert, puits n° 4, niveau 240 mètres. Veine du nord de la Pierre-Carrée.
7. Id. id. id. Veine du Roc.
8. Id. id. id. Veine du Vouzeau, grand brouillard.
9. Mine de Montjean, ancienne couche du vallon.

§ 2. — DOLOMIES.

	1.	2.	3.	4.	5.
Carbonate de chaux. . .	56,40	58,40	59,50	57,10	59,20
Id. de magnésie	39,20	39,90	39,90	40,90	38,90
Sable et argile.	1,00	1,70	0,60	2,00	1,90
Eau.	2,50	»	»	»	»
Total.	99,10	100,00	100,00	100,00	100,00

1. Dolomie de Montjean (carrière Heusschen) (1er banc).
2. Id. id. id. (2e —).
3. Dolomie de la carrière du Grand-Fourneau à Chalonnes (1er banc).
4. Id. id. id. (2e —).
5. Id. id. id. (3e —).

Ces dolomies accompagnent les calcaires-marbres de transition, et forment au nord des carrières des bancs escarpés qui limitent les exploitations. L'analyse en a été faite à la demande de la Société des hauts-fourneaux de Redon, qui se proposait de les utiliser comme fondants magnésiens.

§ 3. — CALCAIRES.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Carbonate de chaux. . .	79,40	91,10	92,50	91,50	89,30	81,50	87,30
Id. de magnésie.	2,50	0,50	traces	4,80	3,20	6,80	2,50
Argile et silice.	17,20	5,85	4,90	4,70	7,50	11,70	10,20
Eau.	(traces de PhO^5)	1,85	2,10	»	»	»	»
Total.	99,10	99,30	99,50	100,00	100,00	100,00	100,00

	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Carbonate de chaux. . .	71,80	95,80	94,36	98,99	98,73	99,37	92,62
Id. de magnésie.	4,50	0,30	0,40	0,20	0,40	0,20	aucune trace
Argile et silice.	23,70	1,50	4,70	0,33	0,35	0,20	5,07
Alumine et oxyde de fer.	»	2,40	0,54	0,48	0,52	0,23	»
Eau.	»	»	»	»	»	»	1,97
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00	100 00	100,00	99,66

1. Calcaire coquillier tertiaire de Douces (Maine-et-Loire), employé pour constructions.
2. Calcaire de Chantonnay (Vendée), de l'oolithe inférieure. Employé pour la fabrication de la chaux : bancs à texture lâche.

3. Même gisement. Bancs à texture compacte, pour pierres de taille.
4. Calcaire de Montreuil-Bellay (Maine-et-Loire). Carrière Chanteau. Emp[illegible] la fabrication de la chaux grasse ou hydraulique (1er banc).
5. Même gisement (2e banc).
6. Id. (3e —).
7. Id. (4e —).
8. Id. (5e —).

Il s'agissait de déterminer ceux de ces bancs qui [illegible] considérés comme devant donner de la chaux hydrauliq[illegible] nos 6 et 7 présentent ce caractère à un degré moyen; le n° [illegible] degré plus élevé.

9. Calcaire de Migné (Vienne). Carrière Dècle : pour pierres de taille.
10, 11, 12, 13. Marbre de transition des carrières d'Angers (carrière Lor[illegible] pour la fabrication de la chaux.
14. Calcaire tertiaire de Meung (Loiret). Employé pour constructions.

Ce dernier échantillon n'ayant donné aucune trace de [illegible] ce qui est rare dans les calcaires, on a recherché à ce sujet [illegible] de sensibilité du phosphate de soude comme réactif de la [illegible] en présence des sels ammoniacaux.

On a préparé six fioles contenant 2 litres d'eau, 25 cent[illegible] d'acide chlorhydrique, 40 centilitres d'ammoniaque et 40 cent[illegible] de phosphate de soude au 10e. On y a ajouté les proportions [illegible] vantes de sulfate de magnésie cristallisé :

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Sulfate de magnésie.	0	0gr,01	0gr,03	0gr,10	0gr,2[illegible]	[illegible]
Corespondant à : magnésie. . .	0	0gr,002	0gr,005	0gr,016	0gr,03[illegible]	[illegible]
	(Témoin.)					

La fiole 2 n'a rien donné.

La fiole 3 a donné un réseau de grains microscopiques de [illegible]phate ammoniaco-magnésien, adhérent aux parois, ayant la for[illegible] de triangles équilatéraux, de trapèzes isoscèles, ou de doubl[illegible] trapèzes accolés par la petite base.

Fiole 4 : grains de même forme, plus espacés et beaucoup [illegible] gros.

Fiole 5 : grains plus gros encore, groupés en croix, en étoiles, [illegible] triangles accolés.

Fiole 6 : cristallisation abondante, une partie en dépôt au [illegible] de la fiole.

La réaction permet donc de reconnaître nettement $\frac{0,005}{2.000}$ [illegible]

$\frac{1}{400.000}$ de magnésie.

§ 4. — ENGRAIS MINÉRAUX.

Calcaire salpêtré, livré au commerce sous le nom d'engrais [illegible]é (Châteauneuf-sur-Sarthe) :

Humidité	2,20
Azotate de potasse	1,30
Alumine et oxyde de fer	2,30
Sable et argile	11,30
Carbonate de magnésie	1,80
Id. de chaux	81,10
	100,00

2. *Phosphate de chaux*, vendu à Cholet pour l'agriculture (poudre [illegible]e, couleur de brique) :

Eau	15,10	
Sable et argile	31,50	
Oxyde de fer	6,10	
Phosphate de chaux	42,30	CaO = 22,80 PhO^5 = 19,50
Chaux en excès	5,00	
	100,00	

3. *Cendres et charrées* (cendres de bois lavées) :

a Charrée d'Angers;
b Charrée du Lion-d'Angers;
c Cendres de tourbe de la forêt de Beffou (Côtes-du-Nord).

	a	*b*	*c*
Eau et matière charbonneuse	27,2	22,9	4,9
Sels alcalins	4,0	2,2	»
Sable et argile	32,2	30,8	85,8
Phosphate de chaux	12,7	8,0	»
Carbonate de chaux	22,8	34,1	2,0
Sulfate de chaux	»	»	7,3
Oxyde de fer et perte	1,1	2,0	»
	100,0	100,0	100,0

4. *Falun de Touraine :*

Argile ferrugineuse	4,8
Alumine et oxyde et fer	1,5
Carbonate de chaux	91,5
Id. de magnésie	traces
Eau et perte	2,2
	100,0

§ 5. — MINÉRAUX ET SUBSTANCES DIVERSES.

1. *Rognons de fer carbonaté* de la mine de Saint-Lambert. En lenticulaires très-dures, parsemées de grains pyriteux. L'analyse été faite sur des parties exemptes de pyrite.

Silice	20,8
Carbonate de fer	58,8
Id. de chaux	1,6
Id. de magnésie	12,2
Oxyde de fer libre ou combiné à la silice	6,0
Matière charbonneuse	0,9
	100,3

2. *Pierre carrée* des mines de Chalonnes. Bancs puissants ap-partenant au terrain anthracifère et formant généralement le mur des couches de houille. (Voir l'*Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 224.)

Silice	73,60
Alumine	15,05
Protoxyde de fer	2,20
Chaux	0,90
Magnésie	traces
Potasse avec un peu de soude	4,16
Perte au feu	3,70
	99,61

Le dosage des alcalis a été fait par attaque à la chaux, jusqu'à fusion, sur la lampe à térébenthine.

3. *Schiste ardoisier* d'Angers :

Perte au feu	8,1
Silice	53,5
Alumine	27,9
Protoxyde de fer	8,2
Chaux	3,0
Magnésie	traces douteuses
	100,7

4. *Verre à bouteilles* de la verrerie de Faymoreau (Vendée).

Silice	62,9
Chaux	26,5
Alumine	2,9
Oxyde de fer	1,5
Magnésie	1,6
Soude	4,5
	99,9

5. *Sulfate de soude brut* employé à la fabrication (même verrerie) :

Sulfate de soude	84,9
Chlorure de sodium	8,9
Résidu argileux	3,1
Eau et perte	3,1
	100,0

6. *Marne de Cognac* (même fabrication) :

Eau et acide carbonique	36,4
Chaux	22,7
Magnésie	10,9
Alumine et oxyde de fer	1,7
Résidu argileux	28,2
	99,9

II. — LABORATOIRE DE CAEN.

Années 1876 à 1878.

Travaux de M. LODIN, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

INCRUSTATIONS DE CHAUDIÈRES.

1° *Locomotives de la ligne de Lisieux à Orbec.* — L'eau qui alimente ces machines provient de la craie chloritée. Les incrustations produites sont épaisses, mais peu compactes. Leur composition est la suivante :

Carbonate de chaux	76,77
Id. de magnésie	2,08
Sulfate de chaux	5,48
Résidu insoluble dans les acides	14,65
	98,98

2° *Locomotives de la ligne de Falaise à Berjou.* — L'eau d'alimentation provient en partie d'un puits creusé dans le calcaire de Caen (*fuller's earth*), en partie d'un puits creusé dans les schistes siluriens. Les incrustations sont minces, zonées, assez solides et contiennent :

Carbonate de chaux	70,58
Id. de magnésie	4,93
Sulfate de chaux	8,52
Oxyde de fer	2,30
Résidu insoluble	12,05
	98,38

3° *Locomotives de la ligne de Caen à Courseulles.* — L'e
d'alimentation provient d'un puits creusé dans le calcaire de Ca
les incrustations, assez minces, contiennent :

Carbonate de chaux	62,68
Id. de magnésie	4,80
Sulfate de chaux	18,72
Résidu insoluble	13,15
	99,35

III. — LABORATOIRE DE CARCASSONNE.

Années 1876 à 1878.

Travaux de M. WICKERSHEIMER, ingénieur des mines. (*Extrait*.)

1° *Galène de la Caunette* (*Aude*). — Puits n° 1, dans le filon
a fait l'objet d'une demande en concession ; ce filon, dirigé
se trouve dans des calcaires schisteux et siliceux du dévonien
moyen.

L'essai par voie sèche a donné :

Plomb = 38,60 ;
Argent = 5.420gr par 1.000kil de plomb.

2° *Minerai de fer carbonaté* affleurant à Lastours (Aude), conte-
nant des mouches de pyrites ; après triage, l'analyse pour cuivre
a donné :

Cuivre = 7,5 p. 100 ;
Quartz = 1 à 1,5.

3° *Minerai de cuivre de Saint-Martin* (*Pyrénées-Orientales*) :

Cuivre = 0,95 p. 100.

4° *Cuivre gris de Gayet, près Cadarcet* (*Ariège*), fondu pour
matte :

Matte = 27,1 p. 100 ;
Teneur de la matte = 40,79 — de cuivre ;
Cuivre rapporté au minerai = 11,08 —

Par fusion avec de la litharge et coupellation du culot de plomb,
on a trouvé 14,87 d'argent pour 100 de cuivre.

5° *Matière noire schisto-argileuse.* — Provenant des environs de

pulou (Pyrénées-Orientales); forme des couches très-étendues qui paraissent être triasiques.

Perte par calcination = 64,60 p. 100.

Analyse de $1^{gr},6$ de minerai calciné:

Fer et alumine	1,25
Silice	0,25
Cuivre	0,037
Total	1,537

Soit en cuivre 2,31 p. 100 rapporté au minerai grillé.

IV. — LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

PREMIÈRE PARTIE. — Année 1877.

Travaux de M. AMIOT, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

1° *Houilles.* — Provenant des recherches de M. Burin-Desroziers, dans la forêt de Varazennes, commune de la Bessette (Puy-de-Dôme). Échantillons choisis, provenant des travaux du puits de Varazennes.

L'essai fait sur 5 grammes a donné:

	POUR 100 DE HOUILLE naturelle.			POUR 100 DE HOUILLE supposée pure.	
	Matières volatiles.	Résidu fixe.	Cendres.	Matières volatiles.	Résidu fixe.
1er étage. . .	28,0	72,0	4,6	74,2	25,8
2e étage. . .	29,9	70,1	8,4	74,0	26,0

Les cendres sont légères, un peu rosées pour le 1er étage, blanches pour le 2e. L'échantillon du 2e étage a donné un coke bien fondu, très-boursouflé, friable, léger. Celui du 1er étage n'a présenté qu'un très-faible commencement d'agglomération, dans trois essais différents. Le fait est d'autant plus remarquable que les

proportions de résidu fixe et de matières volatiles pour la houille supposée pure ne s'écartent pas sensiblement : on ne peut donc l'expliquer par une altération de l'échantillon du 1er étage.

Le charbon de Varazennes est à la limite des houilles grasses proprement dites et des houilles grasses à courte flamme.

2° *Pierres de Volvic.* — Employées pour la construction du soubassement de la gare des voyageurs.

Les pierres de Volvic avec lesquelles est construit le soubassement de la gare des voyageurs présentent, à l'intérieur de la grande halle, une altération très-sensible dans la partie la plus rapprochée du sol ; il s'est formé à l'intérieur des dépôts de matières blanches, suivant des plans verticaux parallèles aux faces ; celles-ci paraissent peu altérées, mais il ne reste qu'une croûte mince de pierre intacte, qui tombe au moindre choc et laisse voir les efflorescences.

Les essais qualificatifs ont montré que cette matière blanche est soluble dans l'eau, qu'elle contient de la chaux, de l'acide sulfurique, qu'elle est exempte d'acide carbonique.

a. Eau. — Une prise d'essai de 1 gramme a donné :

Perte à 100°	1 p. 100
Id. au rouge vif	1,5 —

b. Dosage des matières insolubles et de l'acide sulfurique.

Une prise d'essai de 3 grammes a été traitée pendant 24 heures par 2l,6 d'eau. La liqueur filtrée a été divisée en 2 parties égales.

La première, évaporée à sec, a donné, à 100° et au rouge sombre :

Sels solubles	10 p. 100

La seconde partie a servi au dosage de l'acide sulfurique ; on a trouvé :

Acide sulfurique anhydre	5,6 p. 100
Chaux, soude, etc., correspondantes, calculées	3,9 —
Sulfate de chaux, soude, etc., anhydre	9,5 p. 100

La chaux et les alcalis n'ont pas été dosés directement.

Le résidu insoluble a été de	87,8 p. 100

2e expérience (sur 10 grammes) :

Chaux (p. 100 de la partie soluble)	10,5
Sulfate de chaux (p. 100 de la partie soluble)	25,1

Le spectroscope indique la présence d'une forte proportion de soude.

Les résultats de l'analyse peuvent se résumer ainsi :

Insoluble dans l'eau.	87,8	p. 100
Sulfates de chaux, de soude, etc., anhydres.	9,5	—
Eau hygrométrique et combinée.	1,5	—
Autres sels et perte.	0,5	—
Total.	99,3	p. 100

L'altération observée tient sans doute à ce que les eaux du sous-sol sont séléniteuses. Elles imbibent la pierre par capillarité dans les temps humides; puis, quand la sécheresse vient, elles s'évaporent en abandonnant les sulfates contenus, qui cristallisent à l'intérieur de la pierre et désagrégent celle-ci.

DEUXIÈME PARTIE. — Année 1878.

Travaux de M. VOISIN, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

1° *Galène de Viallole*, commune de la Bessette (Puy-de-Dôme) (échantillons remis par M. Burin-Desroziers). — Galène accompagnée de beaucoup de pyrite.

Deux essais par voie sèche ont donné les résultats suivants:

NUMÉROS des essais.	POIDS du plomb.	POIDS de l'argent.	PLOMB p. 100 de minerai.	ARGENT aux 100 kilog. de plomb.
	grammes.	grammes.		grammes.
1.	5,43	0,005	27,1	92
2.	4,45	0,004	22,3	90

2° *Essais de houilles diverses :*

NUMÉROS des échantillons.	HOUILLE BRUTE.		HOUILLE PURE.	
	Coke p. 100.	Cendres p. 100.	Coke p. 100.	Matières volatiles p. 100.
1.	91,0	8,5	90,1	9,9
2.	73,8	7,3	71,8	28,2
3.	77,1	6,3	75,5	24,5
4.	81,0	21,3	75,7	24,3
5.	78,3	15,7	74,3	25,7

N° 1. Houille de Messeix (échantillon envoyé par M. Villiet). Coke très-dur, très-brillant, un peu argentin, nullement fritté. Cendres rosées.

N° 2. Houille de la Chalède. Coke très-boursouflé, très-léger, très-friable. Cendres blanches.

N° 3. Houille de Marsanges. Couche n° 1. Coke boursouflé, bien fondu, léger, friable. Cendres blanches.

N° 4. Houille de Marsanges. Couche n° 2. Ordinaire.

N° 5. Même couche, cuvette au niveau de 130 mètres au-dessus de la cuvette de la couche n° 1. Comme le n° 3.

V. — LABORATOIRE DE MARSEILLE.

Années 1876 à 1878.

Travaux de MM. VILLOT et OPPERMANN, ingénieurs des mines. (Extr...

§ 1er. — CALCAIRES, CHAUX ET CIMENTS.

1 à 3. *Calcaires a, a', b.* — Envoi de M. Honorat. Proviennent de Roquefavour (Bouches-du-Rhône). Étage supérieur au terrain à lignite. Donnés pour s'assurer si leur teneur en argile les rendait propres à la fabrication du ciment. Ils ne peuvent donner que de la chaux grasse.

a. Coloration rougeâtre.

a', b. Coloration gris de fumée.

Résidu insoluble dans HCl faible et froid.	
a.	4 p. 100
a'.	2 —
b.	3,3 —

4. *Calcaire.* — Présenté par M. Honorat. Provient des environs de Roquefavour. Étage supérieur au terrain à lignites. Cassure et aspect terreux.

Pétri de petites cyclades. Ne paraît pouvoir donner, en tout cas, qu'une chaux d'une hydraulicité moyenne.

Argile	0,127
Oxyde de fer	0,007
CaO	0,453
CO^2, HO, pertes	0,413
	1,000

5. *Calcaire.* — Présenté par M. Ravel. Provient des environs d'Auriol (Bouches-du-Rhône). Coloration gris foncé; pâte fine. Ne paraît pas devoir donner du ciment proprement dit, mais une chaux fortement hydraulique.

Argile	0,140
CaO	0,470
MgO	traces
Oxyde de fer	»
CO^2.HO. pertes	0,390
	1,000

6 à 9. *Calcaires a, b, c, d.* — Envoi de M. Biver, directeur de la société de charbonnages des Bouches-du-Rhône. Proviennent de Valdonne. Terrain à lignite.

a, b. Coloration gris fumée, texture compacte;

c, d. Coloration noirâtre, cassure pierreuse.

Ne paraissent devoir donner tous quatre qu'une chaux moyennement hydraulique.

	a	*b*	*c*	*d*
SiO^3	0,062	0,038	0,037	0,040
Al^2O^3,Fe^2O^3	0,041	0,045	0,031	0,027
CaO	0,473	0,475	0,491	0,481
MgO	0,008	0,009	0,009	0,008
CO^2. HO pertes	0,416	0,433	0,432	0,444
	1,000	1,000	1,000	1,000

10. *Calcaire à ciment.* — Envoi de M. Jouve, fabricant de ciment. Provient de Gardanne (Bouches-du-Rhône). Ciment dit de la Roche-Dure. Terrain à lignite.

Calcaire homogène, grain fin, cassure esquilleuse, très-dur. Coloration gris fumée foncé. Paraît devoir donner un produit de bonne qualité.

SiO^3	0,220
Al^2O^3,Fe^2O^3	0,058
CaO	0,345
MgO	traces
CO^2,HO, pertes	0,374
	0.997

11. *Calcaire.* — Envoi de M. Mazot, à Marseille. Provient de Trets, quartier de la Tuilerie. Terrain à lignite. Essayé au point de vue de son hydraulicité. Calcaire homogène, très-dur. Cassure pierreuse. Coloration gris de fumée.

SiO^3	0,133
Al^2O^3,Fe^2O^3	0,117
CaO	0,410
MgO	traces
CO^2,HO, pertes	0,340
	1,000

12 à 15. *Calcaires a, b, c, d.*— Envoi de M. Brunias. Provien[illegible] de Mézel (Basses-Alpes). Il s'agissait de s'assurer si ces calc[illegible] pouvaient donner des chaux hydrauliques. On prévoit que *a, b*, [illegible] donneront de la chaux grasse, *d* une chaux limite, de la catég[illegible] des chaux-ciments.

	a	*b*	*c*
Argile	0,033	0,057	0,0[illegible]
Oxyde de fer	0,011	0,013	0,0[illegible]
CaO	0,504	0,480	0,5[illegible]
MgO	traces	traces	traces
CO^2,HO, pertes	0,452	0,340	0,4[illegible]
	1,000	1,000	1,[illegible]

	d
Silice	0,165
Al^2O^3,Fe^2O^3	0,051
CaO	0,425
MgO	traces
CO^2,HO, pertes	0,359
	1,000

16 à 23. *Calcaires à chaux hydraulique a, b, c, d, e, f, g, h.* — Envoi de M. Désiré Michel. Proviennent de Sigonce (Basses-Alpes). Ce sont des échantillons des bancs exploités par la grande usine [illegible] chaux de ce nom.

L'analyse a donné les résultats ci-dessous.

La magnésie a été recherchée et n'a pas été trouvée.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*
SiO^3	0,165	0,133	0,145	0,192	0,150	0,187	0,161	0,[illegible]
Al^2O^3,Fe^2O^3	0,059	0,064	0,055	0,057	0,062	0,057	0,047	0,0[illegible]
CaO	0,351	0,420	0,425	0,390	0,440	0,373	0,442	0,3[illegible]
CO^2,HO, pertes	0,425	0,393	0,375	0,361	0,348	0,383	0,350	0,3[illegible]
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,[illegible]

24 à 26. — *Calcaires a, b, c.* — Envoi de M. Giraud, à Marseille. Proviennent de l'Espagne. Étage tertiaire moyen.

Il s'agissait de s'assurer si ces échantillons pouvaient donner des chaux hydrauliques. L'essai a fait voir que ce sont des calcaires à peu près purs.

	a	b	c
Résidu argileux	0,030	0,026	0,003
Chaux	0,532	0,538	0,555
CO^2,HO	0,438	0,436	0,442
	1,000	1,000	1,000

27. *Mélange ayant servi à fabriquer de la chaux.* — Envoi de M. Blanc, ingénieur civil à Corte :

1° Granite décomposé.

2° Calcaire quartzeux.

3° Dolomie.

On s'était servi d'une chaux fabriquée avec le mélange ci-dessus pour la construction d'un pont, qui s'est écroulé au bout de quelques mois. On a pris, pour l'analyse du mélange, les échantillons dans la même proportion que celle dans laquelle ils étaient entrés pour la fabrication de la chaux.

SiO^2	0,252
Al^2O^3	0,143
Oxyde de fer	0,029
CaO	0,225
MgO	0,020
CO^2,HO, matières non dosées	0,331
	1,000

§ 2. — COMBUSTIBLES.

1. *Lignite.* — Envoi de M. Le Blanc, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Provient d'une petite couche de 10 à 15 centimètres de puissance, trouvée à 14 mètres de profondeur dans les travaux du chemin de fer du vieux port, à Marseille. Terrain tertiaire moyen (horizon d'Allauch et de Forcalquier probablement). Aspect terne et terreux. Texture schisteuse.

Matières volatiles	0,532
Carbone fixe	0,116
Cendres	0,352
	1,000
Pb avec PbO	10,360
Carbone équivalent	0,304
Id. aux matières volatiles	0,188

2 à 10. *Lignite a, b, c, d, e, f, g, h, i.* — Rapporté par M. Villot. Provient de la concession de la Bastide-Blanche (Var). Le coke obtenu était tout à fait pulvérulent, et les cendres d'une couleur rougeâtre. *a.* Terre menue ; *b.* pris sur place, à laver ; *c.* menus à

laver; *d.* lavé à l'eau chaude; *e.* gros; *f.* charbon lavé; *g.* lavé à l'eau froide; *h.* charbon simplement débourbé; *i.* fonds de crible. Ces essais étaient faits pour éclairer le concessionnaire sur divers essais de lavage tentés par lui.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
Eau et mat. vol.	0,453	0,465	0,488	0,505	0,518	0,531	0,493	0,532	0,500
Carbone fixe. . .	0,293	0,328	0,340	0,340	0,397	0,363	0,375	0,311	0,325
Cendres.	0,254	0,207	0,175	0,135	0,085	0,106	0,132	0,157	0,175
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pb avec PbO. . .	17,630	20,186	19,985	20,302	21,070	21,700	20,960	20,352	20,243
Carbone équiv[t].	0,518	0,593	0,587	0,597	0,620	0,638	0,610	0,598	0,595
Id. aux mat. vol.	0,225	0,265	0,247	0,257	0,223	0,275	0,235	0,287	0,270

11 et 12. *Agglomérés a, b.* — Deux briquettes, l'une provenant de la Société anonyme de charbonnages des Bouches-du-Rhône, l'autre de la Grand'Combe. On a fait un essai comparatif du pouvoir calorifique, à l'occasion de la demande en réunion de la concession de la Grand'Combe et de celle de Trets. On a pris 7.815 calories pour le pouvoir calorifique du carbone pur.

a. Société de charbonnages.

b. Grand'Combe.

a est un aggloméré *de lignite* avec une faible proportion de houille, fabriqué depuis longtemps par la Société de charbonnages.

b est un aggloméré *de houille* avec une faible proportion de lignite. Les proportions sont à peu près renversées :

a. { 71 p. 100 de lignite, 20 — de houille, 9 — de brai.

b. { 23 p. 100 de lignite, 68 — de houille, 9 — de brai.

	a	*b*
Pb avec PbO.	23,200	28,600
Carbone équivalent.	0,684	0,841
Unités de chaleur.	5.364	6.571

13. *Lignites.* — Envoi de M. Biver. Provient de Valdonne. A été pris dans les chantiers à grisou. Bel échantillon de lignite. Par une forte calcination, on a obtenu un coke très-léger, assez fortement aggloméré, mais sans boursouflure. Il est très-intéressant de constater qu'en même temps que le lignite se charge de grisou en quantité appréciable, il prend des propriétés agglutinantes, et donne un véritable coke.

Matières volatiles	0,461
Carbone fixe	0,497
Cendres	0,042
	1,000
Pb avec PbO	23,840
Carbone équivalent	0,700
Id. aux matières volatiles	0 203

14 à 20. *Houilles maigres.* — Provenance : concession de Saint-Côme et Lassouts (Aveyron). Envoi du concessionnaire. Ces échantillons représentent les différentes couches exploitées dans cette concession. Ces houilles sont toutes un peu pyriteuses et fortement schisteuses.

Densité moyenne : 1,450.

Coke assez agglutiné, mais sans boursouflure.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
Matières volatiles	0,398	0,397	0,397	0,290	0,197	0,393	0,422
Carbone fixe	0,448	0,400	0,393	0,400	0,223	0,432	0,408
Cendres	0,154	0,203	0,210	0,310	0,580	0,175	0,170
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pb avec PbO	26,000	20,510	20,680	16,450	7,900	21,200	24,830
Carb. équivalent	0,765	0,604	0,608	0,483	0,232	0,623	0,730
Id. aux mat. vol.	0,317	0,204	0,215	0,083	0,011	0,191	0,322

21. *Schiste.* — Provenant de la même concession. Échantillon pris dans une des couches de schiste qui séparent les bancs de houille.

Pb avec PbO	2,915

22 à 25. *Agglomérés a, b, c, d.* — Envoi de la Compagnie de la Grand'Combe. Quatre briquettes fabriquées avec les menus de la Grand'Combe et les menus de Trets, et représentant le type d'agglomérés que cette compagnie doit produire si la fusion a lieu. Proportions de houille et de lignite différant peu de celles indiquées pour *b* des n[os] 11 et 12 ci-dessus.

	a	*b*	*c*	*d*
Matières volatiles	0,250	0,260	0,257	0,248
Carbone fixe	0,662	0,654	0,654	0,659
Cendres	0,088	0,086	0,089	0,093
	1,000	1,000	1,000	1,000
Pb avec PbO	26,870	27,030	27,250	26,600
Carbone équivalent	0,790	0,795	0,801	0,782
Id. aux mat. volatiles	0,128	0,141	0,147	0,123

26 à 28. *Lignite a, b, c.* — Provient de la concession du Banc-

Rouge (Ardèche). Envoi du concessionnaire. Terrain de [illegible] étage Paulétien de E. Dumas. C'est la continuation, au [illegible] rivière d'Ardèche, d'un niveau à lignite assez activement [illegible] dans le Gard, à Saint-Julien de Peyrolas, le Pin, Connaux, [illegible]

a. Sans indication.

b. Mine basse.

c. Mine haute.

Coloration noir-brun mat. Poussière très-brune. Cassure [illegible] friable. Cendres jaunâtres. Coke pulvérulent.

	a	b	c
Matières volatiles	0,533	0,550	[illegible]
Carbone fixe	0,300	0,312	[illegible]
Cendres	0,167	0,138	[illegible]
Pb avec PbO	14,750	14,880	[illegible]
Carbone équivalent	0,433	0,437	[illegible]
Id. aux matières volatiles	0,133	0,125	[illegible]
Soufre	0,023	0,026	[illegible]

29 et 30. *Lignite a, b.* — Provient de la concession de [illegible] (Vaucluse). Envoi du concessionnaire. Étage crétacé. Craie [illegible] d'après S. Gras.

a. Mine basse.

b. Mine haute.

On remarquera la quantité considérable de soufre.

	a	b
Matières volatiles	0,508	[illegible]
Carbone fixe	0,382	[illegible]
Cendres	0,110	[illegible]
Pb avec PbO	14,600	[illegible]
Carbone équivalent	0,429	[illegible]
Id. aux matières volatiles	0,047	[illegible]
Soufre	0,062	[illegible]

31. *Jayet.* — Envoi de M. Buès. Provient de Volonne (Basses-Alpes). Trouvé dans les poudingues pliocènes. A été l'objet [illegible] travaux de recherche, abandonnés à cause de l'irrégularité du [illegible] D'un beau noir compacte. Beau spécimen.

Matières volatiles	0,545
Carbone fixe	0,392
Cendres	0,063
Pb avec PbO	20,000
Carbone équivalent	0,617
Id. aux matières volatiles	0,225

32. *Agglomérés.* — Briquettes livrées par le commerce à Marseille pour le chauffage domestique, fabriquées avec la charbon[illegible]

nille, la sciure de bois, mélangées de cendres et d'argile. La briquette pèse $0^k,864$; on les vend $0^f,70$ la douzaine. On voit que leur prix égale la moitié environ de celui du bon charbon de bois, qui se vend au détail 14 francs les 100 kilog.

Matières volatiles	0,345
Carbone fixe	0,455
Cendres	0,200
Pb avec PbO	16,000
Carbone équivalent	0,470
Id aux matières volatiles	0,015

33 et 34. *Lignites.* — Proviennent de Croatie. Rapportés par M. Villot. Bassin de Krapina, au nord-ouest d'Agram. Ce sont des lignites secs de l'époque miocène. D'un noir assez brillant, très-friables et très-pyriteux. Appartiennent à la variété dite *Schwarz-kohle.* Contemporains des charbons de Trifail, qui alimentent en grande partie les lignes des chemins de fer Süd-Bahn. On remarquera la quantité considérable de soufre. D'autres échantillons ont donné jusqu'à 8 p. 100 de soufre.

	a	*b*
Matières volatiles	0,510	0,520
Carbone fixe	0,458	0,435
Cendres	0,032	0,045
Pb avec PbO	20,000	21,250
Carbone équivalent	0,588	0,625
Id. aux matières volatiles	0,130	0,190
Soufre	0,038	0,037

35. *Houille.* — Envoi de M. Galeigne, à Marseille. Provient de Collobrières (Var). D'un beau noir luisant, très-friable. Coke assez aggloméré, mais sans boursouflement. On n'a pas recherché le soufre, qui ne doit s'y trouver qu'en faible quantité, du reste, si l'on s'en rapporte à l'aspect.

Matières volatiles	0,230
Carbone fixe	0,623
Cendres	0,147
Pb avec PbO	28,000
Carbone équivalent	0,823
Id. aux matières volatiles	0,200

36 à 39. *Lignites a, b, c, d.* — Proviennent du bassin à lignite tertiaire de Tourbalo, situé dans la province d'Anatolie, à 50 kilom. de Smyrne et à 10 kilom. du chemin de fer de Smyrne à Aïdin. Coke pulvérulent. On remarquera la quantité énorme de soufre.

a, Couche n° 1; *b*, petite couche non exploitée; *c*, deux ans d'exposition à l'air; *d*, pris sur le tas.

	a	b	c
Matières volatiles.	0,395	0,414	0,410
Carbone fixe.	0,440	0,438	[illegible]
Cendres.	0,165	0,148	[illegible]
Pb avec PbO.	20,070	19,300	[illegible]
Carbone équivalent.	0,590	0,568	[illegible]
Id. aux mat. volatiles. .	0,150	0,130	0,162
Soufre.	0,075	0,070	[illegible]

40. *Lignite.* — Provient d'un bassin à lignite [illegible] terrain tertiaire supérieur, à 11 kilom. de la mer et à [illegible] Mégare (Grèce). Charbon brun et terne. Coke [illegible] sieurs couches, dont une très-exploitable (1^m,50 d'[illegible] et 1^m,20 d'utile). Se transporte par bateaux de faible [illegible] Pirée. Le faible pouvoir calorifique des matières [illegible] une grande quantité d'eau de carrière. Il se délite [illegible]

Matières volatiles.	[illegible]
Carbone fixe.	[illegible]
Cendres.	[illegible]
Pb avec PbO.	[illegible]
Carbone équivalent.	0,444
Id. aux matières volatiles.	0,070
Soufre.	0,016

41 et 42. *Lignites a, b.* — Proviennent de l'île d'Imbros [illegible] Bassin à lignite paraissant appartenir à la molasse marine, [illegible] sentée dans l'île par des grès très-tendres ou safres.

a. Tirant sur le jayet.

b. Lignite brun.

	a	b
Matières volatiles.	0,525	[illegible]
Carbone fixe.	0,426	[illegible]
Cendres.	0,049	[illegible]
Pb avec PbO.	18,400	[illegible]
Carbone équivalent.	0,541	[illegible]
Id. aux matières volatiles.	0,115	[illegible]
Soufre.	0,0018	[illegible]

§ 3. — MINERAIS.

1, 2, 3. *Galène a, b, c.* — Envoi de M. Fajolle. Provient de [illegible] mine d'Argentella (Corse).

a. Grotte du Grand-Couloir.

b. Chantier n° 16 (Nord).

c. Quartier de Guittone.

a. Galène cubique sensiblement pure. *b, c.* Texture [illegible]

	Pb	Ag aux 100 kilog. de Pb.
a.	76 p. 100	592 gr.
b.	45 —	185 —
c.	16 —	41 —

4. *Cuivre pyriteux.* — Envoi de M. Stefani, de Corte. Provient de Corse. Échantillon d'assez bonne apparence, ayant quelque ressemblance avec le cuivre panaché amorphe.

Cuivre	0,231
Fer	0,289
Soufre	0,260
Eau, gangues, matières non dosées	0,220
	1,000

5 à 10. *Cuivre pyriteux a, b, c, d, e, f.* — Envoi de M. Galland. Provient des recherches effectuées par la « Copper Company of Corsica limited », à Olmeta de Tuda (Corse). On a dosé seulement le cuivre, le fer et le soufre. Ce sont des mélanges intimes de pyrites de fer et de pyrites cuivreuses, formant une couche stratifiée avec le terrain sédimentaire métamorphisé dans lequel elle est contenue. On y voit parfois aboutir des filons véritables de pyrite cuivreuse.

	a	b	c	d	e	f
Cuivre	0,085	0,023	0,018	0,168	0,034	0,137
Fer	0,342	0,295	0,399	0,190	0,285	0,222
Soufre	0,343	0,206	0,236	0,331	0,382	0,387
Gangues et matières non dosées	0,230	0,476	0,347	0,311	0,299	0,224

11. *Antimoine sulfuré (stibine).* — Envoi de M. Tallier, à Marseille. Provient de l'Allier, commune de Petite-Marche. Bel échantillon : aspect fibreux, très-brillant quand la cassure est fraîche. L'or et l'argent n'ont pas été recherchés.

Pb	66,100
S	24,700
Fe	traces
Pb	1,200
Gangues, pertes matières non dosées	8,000
	100,000

§ 4. — ENGRAIS.

1. *Nodules phosphatés.* — Envoi de M. Fontaine, à Marseill Provient des environs de Bollène (Vaucluse).

On a dosé PhO^5 seulement :

PhO^5.	19,93 p. 100
Phosphate de chaux tribasique correspond[t].	43,40

2. *Guano*. — Envoi de M. Fawtier, de Constantine. Provient [illegible] environs de cette ville, où l'on en rencontre, paraît-il, des dé[illegible] d'une certaine importance.

Coloration jaune-brun.

On a dosé seulement PhO^5 et l'azote total.

PhO^5.	6,80 p. 100
Az.	3,90 —

§ 5. — DIVERS.

1 à 5. *Limons*. — Provenant des dépôts de la Durance, du [illegible] au 30 septembre 1875, au pont de Mirabeau. Représentent la composition moyenne des matières qui ont passé dans la Durance durant cette période :

	1	2	3	4	5
SiO^2.	0,335	0,353	0,322	0,345	[illegible]
Al^2O^3, Fe^2O^3.	0,203	0,207	0,217	0,202	[illegible]
CaO.	0,197	0,213	0,231	0,245	[illegible]
MgO.	traces	traces	traces	traces	traces
CO^2,HO, mat. organiques.	0,255	0,225	0,225	0,208	[illegible]
	1,000	0,998	0,995	1,000	[illegible]

6 à 9. *Mortiers a, b, c. Sable d*. — Envoi de M. Marchand, colonel du génie, à Marseille.

On soupçonnait l'entrepreneur de ne pas donner à ces mortiers la qualité qu'ils devaient avoir. L'analyse a montré que la chaux libre y entrait pour une trop faible proportion, bien inférieure à celle mentionnée par le cahier des charges.

Certains travaux ont dû être recommencés.

	a	*b*	*c*	*d*
Argile et silice.	0,417	0,401	0,303	[illegible]
Oxyde de fer.	0,012	0,038	0,073	[illegible]
Carbonate de chaux.	0,513	0,467	0,540	[illegible]
Chaux libre.	0,048	0,053	0,045	»
Eau (par différence).	0,010	0,041	0,039	»
	1,000	1,000	1,000	1,000

10. *Poudre*. — Envoi de M. Bricka, ingénieur des pont et chaussées à Aix.

En grains fins, à l'état de pulvérin, non grenée, non lissée. Prenant feu assez difficilement.

Soufre	23,72
Charbon	1,30
KO, AzO^5	13,00
NaO, AzO^5	47,00
Chlorures et sulfates alcalins	7,00
Eau, matières non dosées	7,98
	100,00

11. *Brique réfractaire.* — Envoi de M. Fontaine, à Marseille. Brique fabriquée avec de l'argile de Bollène (Vaucluse).

SiO^3	0,588
Al^2O^3	0,325
Fe^2O^3	0,012
CaO	0,030
Pertes et matières non dosées	0,045
	1,000

12-13. *Argile réfractaire a, b.* — Envoi de M. Tastavin. Provient de Donzère (Drôme).

a. Sable blanc; — *b.* Sable rougeâtre.

On voit par les résultats ci-contre que la silice est peut-être en excès pour donner de bons produits réfractaires. En tout cas, c'est à l'expérience de prononcer.

	a	*b*
SiO^3	0,830	0,766
Al^2O^3	0,115	0,131
Oxyde de fer	traces	0,036
CaO	0,013	0,021
CO^2,HO, pertes	0,042	0,046
	1,000	1,000

VI. — LABORATOIRE DE MÉZIÈRES.

Années 1877 et 1878.

Travaux de M. NIVOIT, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

§ 1er. — PHOSPHATES.

1° *Nodules phosphatés de la Côte-d'Or et des Vosges.* — On trouve dans l'Auxois (Côte-d'Or) des nodules de phosphate de chaux

blanc-jaunâtre, terreux, friables, avec petites coquilles bivalves empâtés dans une argile ocreuse qui repose sur le calcaire à gryphées arquées. La couche de nodules a une épaisseur de 5 à 8 centimètres; elle est assez régulière, mais elle n'est pas très-riche, car le rendement n'est que de 150 à 200 tonnes par hectare. Le lavage de ces nodules est difficile, à cause de la grande quantité d'argile qui les accompagne.

D'après M. Collenot (*Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. V, p. 671), ces nodules et le limon dans lequel ils sont disséminés auraient été formés par la dissolution des roches sous-jacentes. On observe, en effet, des globules phosphatés noyés dans le calcaire à gryphées arquées, à différents niveaux.

On a découvert récemment, sur le territoire de Sandaucourt, dans l'arrondissement de Neufchâteau (Vosges), des nodules semblables formant une couche de 0m,15 à 0m,25 d'épaisseur, dans une terre argileuse, sur le calcaire à gryphées arquées.

Les nodules de ces deux gisements présentent également une grande analogie de composition, comme le montrent les deux analyses suivantes :

	(1)	(2)
Perte par calcination	4,30	5,30
Sable et argile	13,64	9,76
Silice soluble dans la potasse	3,70	2,82
Alumine	16,80	13,28
Oxyde de fer	4,64	5,04
Chaux	27,48	30,11
Magnésie	0,23	0,52
Acide phosphorique	27,24	29,60
Acide sulfurique	0,71	1,38
Fluor	traces	traces
Chlore	traces	traces
Matières non dosées et pertes	1,26	2,19
	100,00	100,00
Phosphate tricalcique correspondant	59,46	64,59
Sulfate de chaux	1,21	2,35

(1) Échantillon des environs de Semur, envoyé par M. Desailly, exploitant de phosphates fossiles à Grandpré (Ardennes).

(2) Échantillon de Sandaucourt, envoyé par M. Siegler, ingénieur des ponts et chaussées, à Bar-le-Duc.

Ces nodules contiennent peu de matières organiques; pas d'azote en proportion dosable, pas du tout d'acide carbonique. Le fluor est en quantité très-appréciable; nous ne l'avons constaté que qualitativement, mais il pouvait être dosé. On remarquera qu'il y a beaucoup d'alumine; la chaux n'étant pas en quantité suffisante

ur former un phosphate tricalcique avec tout l'acide phospho-
ique, il est probable qu'une partie de cet acide est combinée à
l'alumine et à l'oxyde de fer. La proportion d'acide phosphorique
est élevée ; nous avons constaté qu'elle peut atteindre, dans cer-
tains échantillons de l'Auxois, 32 p. 100.

Ces nodules diffèrent donc essentiellement de ceux des sables verts et de la gaize des Ardennes. Nous pensons qu'ils ne seraient pas directement assimilables, comme ces derniers. Ils conviennent très-bien, à cause de leur richesse, pour la fabrication des superphosphates; mais, comme ils manquent de chaux et que le produit ne sèche pas bien, il est bon de les mélanger, ainsi que le fait M. Desailly, avec des phosphates accompagnés de carbonate de chaux, tels que ceux de Ciply (Belgique) ; on obtient ainsi une matière très-homogène, sans excès d'humidité.

Il est probable que des recherches attentives feraient découvrir ces nodules en un grand nombre de points, au même niveau géologique.

2° *Nodules phosphatés des Argonnelles* (Meuse). — Cinq échantillons de nodules pulvérisés, des sables verts, provenant de l'exploitation du bois des Argonnelles, commune de Laheycourt (Meuse), envoyés par MM. Huardel et Moreau :

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Perte par calcination	9,30	9,70	8,00	10,20	11,10
Argile et sable	31,00	32,30	51,10	38,75	38,75
Acide phosphorique	16,46	15,83	13,95	13,74	12,98
Acide sulfurique	1,44	1,72	0,24	1,03	1,99
Autres matières (par différence)	41,80	40,25	26,71	41,28	35,18
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Phosphate tricalcique correspondant	35,93	34,54	30,45	29,99	28,33
Sulfate de chaux	2,45	2,92	0,41	1,75	3,38

En appliquant la méthode dite d'*analyse commerciale*, sur la demande de MM. Huardel et Moreau, on trouve :

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Phosphate	42,50	41,00	37,90	43,20	38,00

Le banc de nodules des Argonnelles, dont l'épaisseur moyenne est de 20 centimètres, contient vers son milieu, ainsi qu'à sa partie supérieure, un petit lit continu de gypse. C'est ce qui explique la proportion relativement forte d'acide sulfurique qu'on retrouve dans les farines.

Ces nodules se trouvent au milieu d'un sable argileux très-fin qui pénètre dans leurs fissures, fait presque corps avec eux, et dont il est très-difficile de les séparer. Aussi, quand ils ne sont pas bien nettoyés, leur teneur en acide phosphorique, qui est en moyenne de 18 p. 100, s'abaisse beaucoup dans les matières soumises à la mouture. Tel est le cas des farines ci-dessus : la préparation ayant été de plus en plus négligée, la richesse a été en diminuant.

L'exploitation des Argonnelles, qui se fait à l'aide d'un grand puits de mine, est d'ailleurs sur le point d'être abandonnée.

3° *Nodules phosphatés de Laheycourt et de Louppy (Meuse).* — Les communes de Laheycourt et de Louppy-le-Château ont fait exécuter, dans leurs bois, des fouilles pour la recherche des phosphates de chaux des sables verts.

L'essai exécuté sur un échantillon provenant du mélange de nodules extraits de toutes les fouilles, après un lavage soigneusement fait, a donné les résultats suivants :

	Laheycourt.	Louppy.
Perte par calcination	6,00	6,50
Sable et argile	32,09	28,60
Acide phosphorique	19,15	17.42
Acide sulfurique	1,88	1,41
Autres matières (par différence)	40,88	46,07
	100,00	100,00
Phosphate tribasique correspondant	41,78	38,03
Sulfate de chaux	3,20	2,40

La méthode commerciale donne :

	Laheycourt.	Louppy.
Phosphate	46,32	44,50

Ces nodules sont donc assez riches. La couche contient, comme aux Argonnelles, deux petits lits minces de gypse.

4 *Farine phosphatée de Beurey* (Meuse). — Échantillon de nodules de Beurey, pulvérisés au moulin de Marbot, à Bar-le-Duc :

Perte par calcination	7,30
Argile et sable	47,75
Acide phosphorique	14,05
Acide sulfurique	1,10
Autres matières (par différence)	29,80
	100,00
Phosphate tricalcique correspondant	30,67
La méthode commerciale donne	35,00

§ 2. — TERRES.

1° *Terre des rièzes de Rocroi* (Ardennes). — Les *rièzes* de Rocroi, célèbres par la bataille livrée en 1643, sont des terres à peu près incultes, qui s'étendent, au milieu des forêts de l'Ardenne, sur une superficie d'environ 8.000 hectares. Ce terrain paraît avoir été formé par la trituration des roches schisteuses et quartzeuses sur lesquelles il repose; si on le coupe par une section perpendiculaire, on remarque qu'il est constitué par un sable argileux blanc sale, à éléments très-fins, entrecoupé de veines irrégulières et peu épaisses de glaise argileuse, et recouvert d'une terre noircie par des matières organiques. Cette terre noire a une épaisseur irrégulière, plus considérable dans les bas-fonds que sur les pentes, mais en général assez faible et dépassant rarement 10 centimètres. La végétation naturelle consiste en un gazon court et serré.

Pour comparer la composition du sol et du sous-sol de ce terrain, nous avons fait creuser un trou près de Regnowez. Nous avons prélevé deux échantillons : l'un à 5 centimètres au-dessous du sol, au milieu de la couche noire; l'autre à une profondeur de 30 centimètres, dans la couche blanche.

L'analyse que nous avons faite de ces deux échantillons, séchés à 100 degrés, nous a donné les résultats suivants :

		Sol.	Sous-sol.	
Eau combinée et matières organiques		9,58	3,12	
Azote		0,28	0,09	
Matières insolubles dans l'acide chlorhydrique concentré et bouillant : 84,70.	Silice	78,69	68,55	75,23
	Alumine	3,95	4,31	
	Oxyde de fer	1,12	1,03	
	Chaux	0,16	0,25	
	Magnésie	0,51	0,79	
	Matières non dosées et pertes	0,27	0,30	
Matières solubles dans l'acide chlorhydrique : 5,44.	Silice gélatineuse	2,70	7,95	21,56
	Alumine	1,78	8,10	
	Oxyde de fer	0,46	4,83	
	Chaux	0,02	0,05	
	Magnésie	0,14	0,26	
	Potasse et soude	0,16	0,14	
	Acide sulfurique	0,04	traces	
	Acide phosphorique	0,06	0,01	
	Chlore	traces	»	
	Perte	0,08	0,22	
		100,00	100,00	

Ces deux terres sont riches en silice, ce qui n'a rien de surpre-nant, car les roches du terrain ardoisier sont elles-mêmes très si-ceuses : elles consistent en quartzites et en schistes dont la teneur en silice varie de 50 à 70 p. 100 et peut même s'élever à 90 p. 100. La terre noire est plus siliceuse encore que la terre blanche, ce qui doit être attribué à l'entraînement de l'argile dans le sous-sol par les eaux pluviales. C'est sans doute aussi par l'action des eaux pluviales qu'on peut expliquer la plus grande richesse du sous-sol en oxyde de fer; on sait, en effet, qu'en présence des matières organiques, cet oxyde est facilement dissous dans l'eau.

Si l'on examine les substances nécessaires à l'*alimentation* des plantes, on reconnaîtra que le sol contient plus de matières orga-niques, d'azote, d'acide phosphorique et d'acide *sulfurique* que le sous-sol, mais qu'en revanche il renferme moins de chaux et de magnésie. Quant aux alcalis, ils sont à peu près en *même* propor-tion.

En tout cas, on voit que ce qui manque essentiell*ement à ces* terrains, c'est la chaux et l'acide phosphorique.

Le terrain jurassique, qui affleure à quelques kilomètres *au sud* des rièzes, contient des calcaires blancs gélifs qui peuvent être employés directement, à la manière des marnes et des calcaires durs susceptibles de donner de la chaux de bonne qualité. La chaux n'apporte pas seulement au sol un élément nécessaire; elle en neutralise encore l'acidité, et facilite la décomposition des ma-tières organiques qu'y a accumulées la végétation spontanée.

Quant à l'acide phosphorique, il est facile également de se le procurer, puisque le département des Ardennes est le siége d'une importante exploitation de nodules de phosphate de *chaux*. Mais nous devons faire remarquer que l'expérience a prouvé que ces nodules ne produisent aucun effet sensible dans les *terrains chau-lés*, et que, par conséquent, leur emploi doit précéder celui de la chaux.

En raison de l'imperméabilité du sous-sol et de la faible pente du terrain en général, les rièzes sont humides et même maréca-geuses. Aussi, pour compléter l'amélioration agricole de cette con-trée, est-il nécessaire de l'assainir.

2° *Terres végétales de Clavy et de Saint-Lucien.* — *a*) Terre jau-nâtre, sablo-argileuse, cultivée pour le jardinage, à Clavy (Ar-dennes); sur l'oolithe inférieure; échantillon envoyé par M. le vicomte de Gourjault.

b) Terre argilo-sableuse, du village de Saint-Lucien, habité par

colonie d'Ardennais, près Oran (Algérie); échantillon envoyé M. Falour, colon.

es deux terres sont mêlées de fragments calcaires de la grosr d'une noisette à celle d'une tête d'épingle; passées au tamis soie, elles donnent :

	a	b
Fragments calcaires	17,20	8,78
Terre fine	82,80	91,22
	100,00	100,00

A la lévigation, on trouve :

Sable quartzeux	21,90	52,90
Matières ténues	60,90	38,32
	82,80	91,2

Composition chimique de la terre fine, séchée à 100° :

Eau combinée, matières organiques et acide carbonique		14,85	11,10
Sable et argile	Silice	66,52	62,30
	Alumine	4,97	11,20
Argile attaquée par l'acide chlorhydrique	Silice	5,20	4,40
	Alumine	2,52	1,80
Oxyde de fer		1,77	1,92
Chaux		3,02	6,43
Magnésie		traces	0,20
Acide phosphorique		0,16	0,02
Acide sulfurique		0,12	0,16
Perte et matières non dosées		0,87	0,47
		100,00	100,00
Azote		0,62	0,12

100 parties de terre sèche absorbent :

	a	b
Eau	16,50	59,00

La terre *a* est assez fertile, car elle contient des proportions notables d'acide phosphorique et d'azote.

La terre *b* manque surtout d'acide phosphorique. Aussi les engrais qui lui conviennent le mieux sont les superphosphates. On peut encore se servir des nodules pulvérisés des Ardennes en mélange avec le fumier; mais il faut se garder de les employer seuls, car ils ne produisent pas d'effet sensible sur les terres calcaires pauvres en matières organiques.

3° *Limon de la Meuse.* — Huit litres d'eau de la Meuse, recueillis à Mézières pendant une forte crue, nous ont donné un dépôt pesant

0g,405 après dessiccation à 100 degrés, soit 0g,050 environ par litre. Voici quelle est la composition de ce dépôt :

Matières organiques	19,73
Argile et sable	35,58
Silice soluble dans la potasse	11,00
Peroxyde de fer et alumine	13,35
Carbonate de chaux	18,42
Carbonate de magnésie	0,10
Matières non dosées et perte	1,80
	100,00

§ 3. — EAUX.

Eau d'un puits, à Charleville. — Cette eau est de qualité médiocre. Elle provient d'un puits creusé dans le gravier jusqu'à la nappe d'infiltration de la Meuse. Analysée par la *méthode* hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet, elle présente la composition suivante :

Titre hydrotimétrique	55° 1/2
Acide carbonique libre	0lit,0225
Carbonate de chaux	0gr,1236
Sulfate de chaux	0 ,2100
Chlorure de calcium	0 ,1539
Chlorure de magnésium	0 ,0945
	0gr,5820

Tous les puits creusés dans les alluvions de la Meuse donnent de mauvaise eau. Aussi plusieurs propriétaires d'appareils à vapeur ont renoncé à cette eau, qu'ils remplacent par celle de la Meuse. Cette dernière a un titre hydrotimétrique variable suivant les saisons, mais qui ne dépasse jamais 18 degrés.

§ 4. — CALCAIRES ET CIMENTS.

1° *Calcaires à chaux hydraulique du terrain portlandien.* — *a.* Échantillon de calcaire gris bleuâtre de la partie inférieure du terrain portlandien, exploité à Tronville (Meuse) pour la fabrication de la chaux hydraulique.

b, c, d. Échantillons de calcaire blanc-grisâtre, du même étage géologique, provenant d'une entaille qui se trouve sur la route de Bar-le-Duc à Resson, à 800 mètres du point où elle rencontre le canal de la Marne au Rhin.

	a	*b*	*c*	*d*
Eau hygrométrique. . .	0,90	0,90	1,00	1,10
Perte par calcination.	36,35	36,60	38,00	36,30
Argile, sable et silice.	15,20	16,20	13,00	16,00
Alumine.	0,90	1,50	1,40	1,70
Oxyde de fer.	0,30	0,45	0,45	0,40
Chaux.	44,70	43,50	45,90	43,60
Magnésie.	0,65	0,70	0,50	0,70
Acide sulfurique. . . .	0,19	0,08	0,07	0,10
	99,19	99,93	100,32	99,90

L'échantillon *a* donne par la calcination une chaux hydraulique de bonne qualité. Les échantillons *b* et *d* peuvent être employés pour le même usage; l'échantillon *c*, qui contient moins d'argile sableuse que les précédents, ne fournirait pas un produit aussi hydraulique.

2° *Calcaires à ciment de la vallée du Serein.* — Sur la demande de M. Bellocq, fabricant de ciment à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne), nous avons analysé différents échantillons de calcaire provenant du lias supérieur dans la vallée du Serein.

La coupe du terrain est la suivante :

	DÉSIGNATION des bancs.	NUMÉROS des échantillons.	ÉPAISSEUR des bancs. mètres.	
Lias supérieur.	1er rayon.	XIV	0,14	
	Argile.		0,15	
	2e rayon.	XIII	0,11	
	Argile.		0,23	
	3e rayon.	XII	0 12	
	Dalles.	XI	1,70	
	Banc œil de perdrix.	X	0,14	0m,80
	Dalle à ciment.	IX		
	Banc schisteux.	VIII		
	Dalles à ciment.	VII		
	Banc à fleurs.	VI	0,08	
	Dalles.	V		0,70
	Banc de chaux.	VI	0,05	
	Dalles.	III, II		
	Banc noir..	I	0,17	
	Dalles.		2,00	
Calcaire à *Gryphæa cymbium* (lias moyen).			4,50	

Voici quels sont les résultats que nous avons obtenus :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Eau hygrométrique. .	1,60	1,70	1,50	1,30	2,20	[illegible]
Perte par calcination.	28,75	26,55	25,50	30,10	24,55	[illegible]
Argile, sable et silice.	32,70	42,40	43,15	29,50	44,40	[illegible]
Alumine.	2,20	2,14	2,17	1,80	2,58	[illegible]
Oxyde de fer.	0,90	1,01	1,18	1,10	1,29	[illegible]
Chaux.	31,60	24,20	24,80	33,65	23,15	[illegible]
Magnésie.	0,56	0,05	0,04	0,65	0,17	[illegible]
Acide sulfurique. . .	0,20	0,23	0,34	0,32	0,25	[illegible]
Perte et matières non dosées.	1,49	1,72	1,32	1,58	1,43	[illegible]
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	[illegible]

	VIII.	IX.	X.	XII.	XIII.	XIV.
Eau hygrométrique. .	1,10	1,70	1,90	1,30	1,20	1,0?
Perte par calcination.	30,75	32,70	29,55	33,20	34,30	34,0?
Argile, sable et silice.	28,50	26,70	27,15	20,65	19,30	[illegible]
Alumine.	1,55	1,90	1,70	3,90	3,10	[illegible]
Oxyde de fer.	0,80	1,10	1,10	1,00	1,10	[illegible]
Chaux.	34,55	33,80	37,30	39,35	40,00	[illegible]
Magnésie.	0,58	0,22	0,23	0,39	0,30	[illegible]
Acide sulfurique. . .	0,25	0,20	0,27	0,18	0,08	[illegible]
Perte et matières non dosées.	1,92	1,68	0,80	0,03	0,62	[illegible]
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	[illegible]

Les calcaires désignés par les chiffres I, IV, VI, VIII, IX et sont gris-bleuâtre, cassants, à grain fin, et contiennent des mouches de pyrite. Ce sont ceux qui renferment l'argile sableuse et la chaux dans les proportions les plus convenables pour la fabrication du ciment. Ces calcaires, comme on voit, ne présentent pas de très-grandes différences dans leur composition ; aussi ils donnent un produit assez homogène.

L'échantillon VII, qui présente les mêmes caractères extérieurs que les précédents, quoiqu'il contienne plus de chaux et moins d'argile sableuse, peut aussi fournir du ciment, mais à prise plus lente.

Les bancs II, III et V sont des espèces de schistes calcaires bitumineux, renfermant trop d'argile pour donner des chaux-ciments par la calcination. On ne pourrait les faire servir qu'à la fabrication des ciments hydrauliques ou pouzzolanes.

Enfin, les échantillons XII, XIII et XIV sont des calcaires grisâtres, avec parties bleuâtres, à grain assez fin, un peu pyriteux, propres à la fabrication de chaux éminemment hydrauliques ou de ciments à prise lente, dans lesquels le rapport de l'argile sableuse à la chaux est à peu près de 1 à 2.

3° *Ciments de Bourgogne.* — Composition de trois échantillons de ciment fabriqués : les deux premiers, dans l'usine de Flogny, qui tire le calcaire des carrières de Marigny (Yonne); le dernier, dans l'usine de l'Isle-sur-le-Serein, à l'aide des calcaires dont nous venons de donner la composition (n° 2).

Nous avons suivi, pour l'analyse, la méthode indiquée par Rivot dans son *Traité de docimasie* (t. II, p. 668) :

	a	b	c
Eau hygrométrique	0,60	0,70	1,30
Eau combinée	1,65	1,55	0,90
Acide carbonique	5,70	6,15	12,55
Acide sulfurique	1,55	1,31	1,25
Sable et argile	10,94	13,74	5,90
Oxyde de fer	4,24	4,72	3,40
Silice soluble dans la potasse	21,56	22,56	17,52
Alumine	10,40	12,40	7,00
Chaux libre soluble dans l'eau	3,42	1,15	1,72
Chaux combinée à l'acide carbonique	7,25	7,83	16,10
Id. id. à l'acide sulfurique	1,08	0,92	0,87
Id. id. à la silice et à l'alumine	31,05	26,42	31,10
Magnésie	traces	0,58	0,10
	99,44	100,08	99,71

Il y a un peu d'incertitude sur les proportions de chaux libre, car, en traitant la matière par l'eau, on décompose partiellement l'aluminate de chaux.

Ces ciments, le troisième surtout, contiennent une assez grande quantité de carbonate de chaux. Cela tient sans doute à ce que la calcination n'a pas été poussée assez loin pour que l'action de l'argile chasse tout l'acide carbonique du calcaire.

§ 5. — MINERAIS.

1° *Minerai de fer de Charnois* (Ardennes). — Il existe sur le territoire de la commune de Charnois un amas superficiel de minerai de fer intercalé entre la grauwacke d'Hierges et les schistes à calcéoles (étage dévonien inférieur des Ardennes). Ce minerai est exploité depuis quelque temps; il est remarquable par sa forte teneur en manganèse. Voici quelle est la composition de deux échantillons : l'un (*a*), représentant à peu près la moyenne du gisement; l'autre (*b*), très-noir et très-manganésifère :

	a	b
Perte par calcination	9,50	[illegible]
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique	38,60	[illegible]
Silice gélatineuse	5,40	[illegible]
Alumine	1,20	[illegible]
Peroxyde de fer	33,80	[illegible]
Oxyde de manganèse	6,40	[illegible]
Chaux	0,60	[illegible]
Magnésie	»	[illegible]
Acide sulfurique	0,06	[illegible]
Acide phosphorique	»	[illegible]
	100,56	[illegible]
Fer	27,16	[illegible]
Magnésie	4,62	[illegible]

On n'a pas recherché la magnésie ni l'acide phosphorique de l'échantillon *a*.

Ce minerai existe dans un grand nombre d'autres points [illegible] surface du terrain dévonien. Il serait intéressant de le recher[illegible] car, en raison de sa teneur élevée en manganèse, il peut serv[illegible] la fabrication des fontes manganésées, qui, dans *ces* dernières [illegible] nées, a pris tant d'extension en Belgique. Il est malheureuse[illegible] assez phosphoreux.

2° *Minerais de fer de la Moselle et de Belgique.* — Échantil[illegible] de minerai de fer traités au haut-fourneau au bois de [illegible] (Meurthe-et-Moselle). Ce haut-fourneau, qui marche *au* char[illegible] de bois, produit des fontes d'excellente qualité, employées pour la fabrication des tôles fer fort.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Perte par calcination	5,50	10,20	9,70	9,00	[illegible]
Silice	52,03	21,55	20,40	20,85	[illegible]
Alumine	0,45	4,50	15,38	5,50	[illegible]
Peroxyde de fer	41,97	62,70	52,13	63,71	[illegible]
Oxyde de manganèse	»	0,60	0,70	0,65	[illegible]
Chaux	traces	0,02	1,20	»	»
Acide sulfurique	0,07	»	»	0,07	[illegible]
	100,02	99,57	99,51	99,78	[illegible]
Fer métallique	29,38	43,89	36,49	44,60	49,07

(1) Aumetz.
(2) Saint-Pancre.
(3) Tellancourt.
(4) Lexy.
(5) Athus (Belgique).

Une grande partie de l'alumine doit être à l'état d'hydrate. Si

l'on attaque les échantillons 4 et 5 par l'acide chlorhydrique concentré et bouillant, on trouve, en effet :

	(4)	(5)
Silice gélatineuse	2,13	4,15
Alumine dissoute	7,76	4,00

ce qui montre que la silice n'est pas en quantité suffisante pour former un silicate avec toute l'alumine.

Tous ces minerais, déposés dans des poches du terrain jurassique, appartiennent à la formation sidérolithique.

3° *Oxyde noir de manganèse.* — L'oxyde noir de manganèse forme fréquemment des nids au milieu des schistes réviniens (étage silurien des Ardennes). Voici quelle est la composition d'un échantillon friable, un peu terreux, provenant d'un dépôt assez abondant, sur la route de Fumay à Hargnies, envoyé par M. de Rumigny, agent voyer cantonal à Fumay :

Perte par calcination	11,29
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique	59,90
Oxyde de fer et alumine	14,60
Bioxyde de manganèse	12,86
Chaux	0,22
Magnésie	0,81
	99,68

Ces dépôts sont trop irréguliers et trop peu étendus pour être exploités.

4° *Ocres d'Ombrie et de Chypre.* — Nous avons analysé deux échantillons d'ocres remis au laboratoire par M. Colin, fabricant de couleurs à Prix-lès-Mézières, qui désirait se rendre compte, par leur composition chimique, des différences de nuances qu'ils donnent après avoir été calcinés.

Ces matières sont terreuses, tendres, à grain très-fin; elles s'écrasent facilement et happent fortement à la langue. Elles sont facilement attaquées par l'acide chlorhydrique, avec dégagement de chlore et séparation de flocons de silice gélatineuse.

L'échantillon n° 1, qui vient d'Ombrie, est gris-noirâtre, avec petites veines à peu près parallèles de nuance plus foncée; il prend une belle couleur noire par la calcination.

L'échantillon n° 2 vient de l'île de Chypre : il est gris-jaunâtre et présente également de petites veines un peu plus foncées. Il coûte moitié moins cher que le précédent; malheureusement, il ne

donne pas d'aussi bons produits. On ne peut que remédier par-
lement à cet inconvénient par l'addition de *noir minéral*.

Voici quels sont les résultats de l'analyse de ces deux échan-
tillons :

	(1)	(2)
Perte par calcination	16,60	17,30
Sable et argile	6,60	2,30
Silice gélatineuse	14,70	7,53
Acide phosphorique	0,34	2,80
Acide sulfurique	0,08	0,09
Alumine	1,51	2,27
Chaux	1,60	6,93
Magnésie	1,95	0,25
Oxyde rouge de manganèse	14,50	10,60
Oxyde de fer	42,12	49,93
	100,00	100,00
Manganèse	10,45	7,64
Fer	30,66	38,07
Peroxyde de fer correspondant	43,80	11,53

Dans ce tableau, nous avons indiqué le manganèse à l'état d'oxyde rouge ; mais il est à un degré supérieur d'oxydation. Quant au fer, il doit être à l'état de protoxyde, et une partie doit en être combinée à la silice. En effet, si l'on suppose que ce métal soit peroxydé, on obtient pour l'échantillon n° 1 un total supérieur à 100 de 1,68, et, pour l'échantillon n° 2, de 1,60. D'un autre côté, l'alumine, la chaux et la magnésie ne sont pas en quantité suffisante pour former un silicate avec la silice gélatineuse séparée par l'action de l'acide chlorhydrique, au moins dans l'échantillon n° 1.

La perte par calcination comprend l'eau, un peu d'acide carbonique (seulement dans l'échantillon n° 2), et une partie de l'oxygène dégagé par l'oxyde de manganèse.

Ces deux échantillons diffèrent principalement l'un de l'autre en ce que le second contient plus d'oxyde de fer, de chaux et d'acide phosphorique, mais, en revanche, moins d'oxyde de manganèse et de silice que le premier. Nous pensons que c'est *surtout à sa teneur* plus faible en manganèse qu'il faut attribuer l'infériorité de la terre de Chypre sur la terre d'Ombrie.

§ 6. — HOUILLES.

Houilles belges. — Échantillons envoyés par M. Boutmy, maître de forges à Messempré-Carignan, pour être essayés au point de vue de la teneur en cendres et en soufre :

	(1)	(2)	(3)	(4)
Cendres	13,54	13,80	5,80	2,64
Soufre	1,56	0,24	0,04	0,02

(1) Les Artistes, bassin de Liège.
(2) Marihaye. id.
(3) Flénu, près de Mons.
(4) La Haye, près de Liège.

Pour doser le soufre, nous l'avons transformé en acide sulfurique, en attaquant 2 grammes de houille porphyrisée par l'acide azotique bouillant, dans lequel nous avons projeté de temps en temps de petites quantités de chlorate de potasse.

Les houilles sulfureuses doivent être évitées, autant que possible, pour le chauffage des chaudières à vapeur. On sait, en effet, avec quelle rapidité l'acide sulfureux qu'elles dégagent attaque la tôle.

§ 7. — DIVERS.

1° *Asphalte pour chapes de voûtes.* — Échantillon d'asphalte employé pour les chapes des voûtes du fort en construction aux Ayvelles, près de Mézières; remis au laboratoire, pour être vérifié, par M. Boulanger, capitaine du génie :

Carbonate de chaux	72,20
Argile et silice	3,30
Oxyde de fer	2,40
Bitume	20,90
Eau et perte	1,20
	100,00

Nous avons dosé le bitume à l'aide du sulfure de carbone pur, qui le dissout complétement.

Cet échantillon contient la proportion imposée.

2° *Sacs sulfatisés.* — Les sacs à terre employés par l'artillerie et le génie doivent être imprégnés de sulfate de cuivre, d'après les instructions ministérielles. On obtient ce résultat en trempant les sacs à plusieurs reprises dans deux bains distincts, l'un consistant en une dissolution dans l'eau de savon de ménage, l'autre en une dissolution de sulfate de cuivre marquant 12 degrés au pèse-sels. La dose réglementaire est de 60 milligrammes de cuivre au minimum par décimètre carré.

Trois sacs soumis à ce traitement nous ont été remis pour être examinés par le chef du génie de la place de Mézières. Le n° 1 avait une couleur verte assez prononcée, le n° 2 était vert pâle, et le n° 3 à peine coloré.

Nous avons fait découper, dans chacun de ces sacs, des mor-

ceaux carrés de 1 décimètre de côté; nous les avons incinérés, nous avons attaqué les cendres par l'acide azotique, et nous avons dosé le cuivre dans cette dissolution, rendue ammoniacale, à l'aide d'une solution titrée de sulfure de sodium. Nous avons obtenu les résultats suivants :

	(1)	(2)	(3)
	gr.	gr.	gr.
Poids du décimètre carré.	4,865	4,597	[illegible]
Cendres.	0,260	0,218	[illegible]
Matières insolubles dans l'acide. . .	0,030	0,025	[illegible]
Cuivre.	0,136	0,108	[illegible]

On voit que tous ces sacs contiennent une proportion de cuivre supérieure à la dose réglementaire, et que c'est précisément le moins coloré qui en contient le plus. C'est un effet qui ne peut s'expliquer que par des différences dans la nature du *tissu* ou dans le mode de préparation.

3° *Dépôts des chaudières à vapeur*. — *a*) Dépôt amorphe, blanchâtre, provenant d'une chaudière de Givet, alimentée *par l'eau* d'un puits creusé dans les alluvions de la Meuse. Au bout d'un an de service, ce dépôt avait atteint 15 millimètres d'épaisseur; on remarque dans la partie moyenne de très-petites cavités.

b) Dépôt grisâtre, adhérent, formé à l'extérieur d'un bouilleur près d'une fuite, à Torcy-Sedan; il présente également de petites cavités en son milieu. Le générateur est alimenté par un puits creusé dans les alluvions de la Meuse.

c) Dépôt blanc pulvérulent, formé au fond d'une chaudière à Sedan, alimentée par l'eau d'un puits creusé dans *le calcaire à Gryphæa cymbium* du lias.

	a	*b*	*c*
Eau combinée et matières organiques. .	2,10	3,50	0,60
Acide carbonique.	12,90	28,00	33,60
Sable et silice.	2,65	5,00	5,57
Alumine.	traces	1,10	4,00
Oxyde de fer.	traces	1,00	traces
Chaux.	40,20	44,80	45,45
Magnésie.	4,62	1,36	2,40
Acide sulfurique.	37,12	15,11	7,54
Acide phosphorique.	0,08	»	»
Chlore.	traces	»	0,04
	99,67	99,87	99,20

On peut interpréter les résultats de cette analyse en combinant la magnésie avec l'acide carbonique, puis la chaux avec l'acide

carbonique restant et les autres acides. On obtient ainsi les chiffres suivants :

	a	b	c
Eau combinée et matières organiques. .	2,10	3,50	0,60
Sable et silice.	2,65	5,00	5,57
Alumine et oxyde de fer.	traces	2,10	4,00
Carbonate de magnésie.	9,70	2,86	5,04
Carbonate de chaux.	17,77	60,23	70,36
Sulfate de chaux.	63,10	25,69	12,82
Phosphate de chaux.	0,17	»	»
Chlorure de calcium.	traces	»	0,06
Chaux restante.	4,18	0,49	0,74
	99,67	99,87	99,19

La chaux restante est en trop grande quantité, au moins dans l'échantillon n° 1, pour qu'on puisse attribuer cet excédant à une erreur d'analyse. D'autre part, il n'est guère probable que cette chaux soit à l'état libre, car le carbonate de chaux ne se décompose qu'à une température élevée.

Nous pensons que cette base est combinée à la silice. On sait que la silice (presque toutes les eaux en contiennent) décompose les carbonates, les azotates et les chlorures à une température qui est peu supérieure à 100 degrés, et les sulfates eux-mêmes à une température plus élevée, et que cette décomposition est d'autant plus facile qu'il y a une plus grande proportion de sels en présence de la silice. Or ces circonstances se réalisent dans les générateurs à vapeur, où la température intérieure est d'au moins 150 degrés et où les dépôts peuvent être chauffés à une plus haute température.

Nous nous sommes d'ailleurs assuré, par une expérience directe, que l'échantillon n° 1 contient du silicate de chaux. Pour cela, nous avons attaqué 4 grammes par 2 litres d'eau légèrement acidulée d'acide nitrique, cet acide étant en quantité suffisante, toutefois, pour dissoudre tous les sels de chaux et de magnésie. Il s'est formé de légers flocons gélatineux de silice, et du sable s'est déposé dans le fond de la fiole; nous avons séparé le sable de la silice à l'aide d'une dissolution faible de potasse. La liqueur a été évaporée à sec, et le résidu, calciné pendant vingt-quatre heures à 100 degrés, a été repris par l'eau acidulée d'acide nitrique. Le résidu insoluble était encore de la silice. Nous avons trouvé $0^g,044$ de silice d'une part, et $0^g,042$ d'autre part : en tout $0^g,086$, soit 2,15 p. 100. Or, pour former un silicate de chaux de la formule $3CaO,SiO^3$ avec cette quantité de silice, il faut 3,97 de chaux, c'est-à-dire un peu moins que le chiffre porté au tableau.

Le sulfate de chaux joue certainement le rôle le plus impo[rtant] dans les incrustations des générateurs à vapeur. Mais la pré[sence] du silicate de chaux peut rendre compte de différences q[u'on] remarque dans l'état d'agrégation de ces substances, et expli[que] comment le chlore s'y trouve retenu en proportions parfois r[ela]tivement considérables, quoique les chlorures des eaux d'alim[en]tation soient tous très-solubles. Peut-être enfin est-ce au[x] ... mis en liberté par la silice, agissant sur les dépôts déjà f[or]més qu'il faut attribuer ces singulières corrosions intérieures qui [ont] été observées sur la tôle de plusieurs chaudières.

4° *Bronzes pour l'artillerie.* — Échantillons de bronzes [em]ployés dans les arsenaux de l'artillerie, remis au laboratoire, [pour] être vérifiés, par M. Lamarle, chef d'escadron d'artillerie à M[é]zières :

	a	b	c
Étain.	7,15	6,87	6,72
Plomb.	0,55	0,48	1,02
Zinc.	6,40	6,56	7,20
Cuivre.	85,90	86,09	85,06
	100,00	100,00	100,00

a) Bronze de boîte de roue.
b) Bronze d'écrou.
c) Bronze de *galet*.

La composition imposée aux fournisseurs par le service de l'ar[]tillerie est de 6 parties d'étain, 4 de zinc et 90 de cuivre. On v[oit] que ces bronzes s'en écartent notablement; le n° 3 *surtout* contie[nt] trop de plomb.

5° *Bronze de coussinet.* — Échantillon de bronze pour coussin[et] envoyé par M. Boutmy, maître de forges à Messempré, *près* Ca[ri]gnan :

Étain.	16,37
Plomb.	0,16
Zinc.	2,32
Cuivre.	81,15
	100,00

C'est, à très-peu près, la composition indiquée.

VII. — LABORATOIRE DE RODEZ.

Années 1877 et 1878.

Travaux de MM. LAUR, ingénieur en chef, et VITAL, ingénieur des mines.
(Extrait.)

§ 1. — COMBUSTIBLES.

1° *Houilles du bassin de Saint-Perdoux* (M. Vital). — Le bassin houiller de Saint-Perdoux est situé dans le département du Lot, à quelques kilomètres N.-O. de Figeac.

Ces dépôts paraissent représenter un dernier lambeau d'une formation primitivement plus étendue, déposée au pied du massif central et aujourd'hui en partie disparue.

Le bassin comprend deux horizons charbonneux distincts. L'horizon inférieur de la vallée du Berbezon, près des roches primitives, et l'horizon supérieur des collines de la Pourcille.

Le tableau suivant donne le résultat des analyses des houilles du bassin :

PROVENANCE des échantillons.	HORIZON géologique.	EAU à 110°.	TENEUR APRÈS DESSICCATION A 110 DEGRÉS.					ESSAI à la litharge.
			Matières volatiles.	CENDRES.		COKE.		Plomb pour 1 gr. de houille.
				Teneur.	Nature.	Teneur.	Nature.	
Terregaye.	Horizon du Berbezon.	3	38	13	Rosées ; silico-argileuses.	49	Blanc; alvéolaire.	23
Ravin des Rangs.		14	71	3	Blanc rosé ; siliceuses.	»	Ne donne pas de coke.	23
Mine de Frau.	Douteux.	6	37	15	Blanc gris; argilo-quartzeuses.	48	Noir; boursouflé.	24
Ste-Marie.		4	39	16	Roses; silico-argileuses.	45	Noir; boursouflé.	21
Puits St-Antoine.	Horizon de la Pourcille.	5	39	8	Rosées; argilo-quartzeuses.	53	Gris d'argent;	25
Mauriac.		3	35	30	Violettes; quartzeuses.	35	Blanc; alvéolaire.	17

D'après ces résultats, les combustibles du bassin de Saint-Perdoux fournissent généralement moins de 60 p. 100 de coke, et leur

coke est toujours fritté; à ce double titre ils doivent être dans la catégorie des houilles maigres à longue flamme.

La couche du ravin des Rangs paraît même exagérer ces caractères, et son allure à l'essai est identique à celle généralement observée pour les lignites des terrains secondaires.

2° *Lignites de Montmurat* (M. VITAL). — Le territoire des communes de Montmurat et de Saint-Santin-de-Maurs, dans le Cantal, est en partie recouvert par un lambeau de terrain tertiaire qui étend ses ramifications dans les départements voisins, du Lot et de l'Aveyron.

Cette formation renferme, à sa partie supérieure, une couche de lignite qui paraît avoir une puissance moyenne de 1 mètre.

Un échantillon choisi de ces lignites a donné à l'essai les résultats suivants :

Combustible noir, mat, à aspect terreux et cassure conchoïdale, brûlant sans décrépiter avec une flamme noire et une odeur désagréable :

Eau hygrométrique à 60°		15	
Matière desséchée à 60°.	Cendres	13	100
	Matières volatiles	62	
	Carbone fixe	25	

Ce lignite ne fournit pas de coke et laisse des cendres colorées en jaune.

§ 2. — MINERAIS.

1° *Minerais de fer de Lagarde* (M. VITAL). — *Un échantillon* moyen, prélevé dans la couche de minerai de fer oolithique de Lagarde, commune de Salles-la-Source, a donné les *résultats* suivants :

Peroxyde de fer	38,25	99,25
Alumine	10,13	
Silice	13,02	
Chaux	16,21	
Magnésie	1,38	
Perte au feu	20,26	
Phosphore	0,48	p. *100*

2° *Minerais de fer* (M. LAUR). — L'existence de minerais de fer sur le territoire de la Bastide-du-Vert, dans les environs du hameau de Sals, était depuis longtemps connue. Ces gîtes ont été l'objet d'une demande en concession présentée, le 8 septembre 1877, par la Société minière du Lot. Les travaux de recherche, faits à l'appui de cette demande, ont découvert un gîte puissant d'hématites brunes, enclavé sous forme de lentilles verticales, très-allongées,

au milieu des sables du grès vert, qui reposent sur les calcaires jurassiques.

L'analyse de ces minerais a donné :

Silice et alumine	6,00	99,80
Peroxyde de fer	80,50	
Chaux	1,20	
Eau, perte au feu	12,10	
Acide phosphorique	traces très-faibles	
Soufre	nul	
Oxyde de manganèse	nul	

3° *Minerais de manganèse* (M. Laur). — Des minerais de manganèse ont été découverts, dans le courant de l'année 1876, sur les plateaux jurassiques qui s'étendent à l'ouest de l'arrondissement de Cahors; trois demandes ont été présentées pour obtenir la concession de ces gisements. Les travaux faits à l'appui de ces demandes ont démontré que ces minerais se présentaient enclavés dans les masses calcaires jurassiques, sous forme de poches verticales, d'entonnoirs irréguliers, qui, par leur disposition générale, la nature corrodée de leurs parois et leur mode de remplissage, rappelaient complétement les gîtes de phosphates de chaux trouvés dans le même département.

L'étude de ces gisements de phosphates avait montré que les oxydes de manganèse et les oxydes de fer accompagnaient presque toujours la roche phosphatée dans ces gisements, et que le dépôt de ces trois substances minérales avait été certainement contemporain.

Il a semblé intéressant de rechercher si les minerais de manganèse trouvés dans des conditions de gisement identiques au point de vue géologique contenaient du phosphate de chaux.

L'analyse a pleinement confirmé cette induction :

Bioxyde de manganèse	72,00	98,80
Carbonate de chaux	17,00	
Phosphate de chaux	4,30	
Eau	4,50	
Résidu insoluble	1,00	

4° *Minerais de manganèse* (M. Vital). — Les plateaux jurassiques qui surmontent Milhau présentent, au milieu de leurs puissantes assises calcaires, des lits de couleur noirâtre, irrégulièrement distribués et toujours de faible épaisseur.

Sur la demande de divers propriétaires du pays, M. Barrand, ingénieur des ponts et chaussées en résidence à Milhau, a demandé au laboratoire de Rodez l'analyse de ces matières. La recherche

2. *Nodules phosphatés* envoyés par M. **Benoît** et provenant environs de Sainte-Menehould (Marne).

Carbonate de chaux	22,74
Phosphate de chaux	34,33
Argile et sable	33,00
Alumine et oxyde de fer	9,33
	100,00

3. *Nodule* de Montiéramey, ayant rendu *44* p. 100 de phosphate à l'essai commercial; l'analyse, faite par M. l'ingénieur des mines Benoit, a donné :

Matière organique	10
Résidu de l'attaque par AzO^5	33
$CO^2.CaO$	*18*
$PhO^5, 3CaO$	37
Fer et alumine dissous	2
	100

La matière organique est noire et très-difficile à brûler. Il présente cette particularité que, si l'on attaque par l'acide azotique avant de brûler la matière organique, celle-ci reste en presque totalité sur le filtre avec le résidu argilo-sableux, et se dissout ensuite dans l'ammoniaque en donnant une liqueur noire comme l'ulmate d'ammoniaque. Il est possible que cette matière organique provienne d'une gomme-résine altérée.

§ 3. — Engrais.

1, 2. *Engrais* envoyés par M. Renaudat, fermier au *Clos-de-*[illegible]

	(1)		(2)	
Eau hygrométrique	20,00		21,00	
Sulfate de chaux	8,00		11,80	
Sels alcalins et nitrates	30,00		28,20	
contenant (Azote)		(3,58)		[illegible]
contenant (Potasse)		(6,75)		[illegible]
Acide phosphorique soluble	6,00		7,00	
Matières organiques	18,50		17,50	
contenant (Azote)		(1,80)		1,[illegible]
Chaux combinée et matières diverses	17,50		14,50	
	100,00		100,00	

3. *Engrais* envoyé par M. Gauthier, propriétaire à Sainte-Savine

Eau hygrométrique	28,50	
Matières organiques et volatiles	25,50	dont azote 1,3
Phosphore de chaux tribasique	3,93	dont acide phosphorique 1,8
Carbonate de chaux	5,68	
Sable et argile	36,39	
	100,00	

4. *Engrais* provenant de la maison Riberolles, envoyé par M. Vaux-Lemoine, propriétaire à Morvilliers (Aube).

Eau hygrométrique	17,00	
Matières organiques et volatiles	33,00	dont azote 2,39
Acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque	10,48	
Sels alcalins (potasse)	2,00	
Chaux combinée et sulfate de chaux	33,52	
Argile et sable	4,00	
	100,00	

5. *Engrais* provenant de la maison Salles, envoyé par M. Vaux-Lemoine, propriétaire à Morvilliers.

Eau hygrométrique	11,00	
Matières organiques et volatiles	19,10	dont azote 2,22
Acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque	10,90	
Sable et argile	11,00	
Chaux combinée et sulfate de chaux	48,10	
	100,00	

§ 4. — Divers.

1. *Chaux* mélangée de sciure de bois et de sulfate de fer, ayant servi à l'épuration du gaz. Échantillon envoyé par M. Désirier, pour recherche de matières azotées et autres pouvant servir d'engrais.

Carbonate de chaux	54,34
Chaux caustique	15,00
Matières organiques et charbon	17,50
Sable et argile	12,00
Matières non dosées	1,16
	100,00

Un essai qualitatif a décelé la présence des cyanures.

Un dosage d'azote a donné 0,909 p. 100.

Cette matière, par la quantité d'azote et de chaux assimilable qu'elle renferme, peut très-bien servir d'engrais, surtout pour les prairies artificielles. Si on l'emploie à fortes doses, les plantes se colorent en bleu par suite de la présence du fer et de l'acide cyanhydrique, et meurent; mais on obtient un résultat très-satisfaisant si l'on en fait usage dans des proportions convenables et sur des terres argileuses.

2. *Marne* envoyée par M. Goubault, maire de Courteranges, extraite à une profondeur de 1 mètre. Chemin de Courteranges à

Laubressel, près le bois de l'hospice. Limite des craies marn et des argiles du Gault.

Eau hygrométrique	12,50
Carbonate de chaux	47,71
Sable et argile	39,79
	100,00

Cette marne se délite assez facilement et peut parfaitem servir à l'amendement des terres arables privées de calcaire.

3. *Minerai de fer oxydulé*, envoyé par M. Debette, ingénieur mines, et provenant de l'île de la Réunion.

Silice et quartz	7,50
Acide titanique	17,50
Peroxyde de fer	76.00
Alumine	2,00
Chaux	1,61
Magnésie	*traces*
Perte	1,39
	100,00

La quantité de fer oxydulé magnétique attirable au barreau aimanté était de 83,30.

IX. — LABORATOIRE DE VICDESSOS.

Années 1877 et 1878.

Travaux de M. CARCANAGUES, ingénieur des mines. (Extrait.)

1° *Galène à grain fin*, prise dans le périmètre de la concession des mines de fer de Miglos.

Un essai par voie humide a donné:

Teneur en argent: 5.853 gr. à la tonne de plomb.

On a ensuite opéré deux essais par la méthode ordinaire de la voie sèche. Ils ont donné les résultats suivants :

Essais.	Poids traité.	Pb sur 100.	Ag par 1.000 kilog. Pb
1er	10 gr.	53,93	5.655 gr.
2e	Id.	58,74	5.660

Les teneurs en argent sont très-concordantes; elles montrent que la galène essayée est très-argentifère.

Minerai de cuivre du Montminier, à Montferrier (demande en ssion).

Teneur en cuivre : 2,74 p. 100.

Minerai de manganèse de Gouaux-de-Larboust (Haute-Ga- e) (demande en concession). Analyse rapide au point de vue emploi au haut-fourneau.

$Mn^3O^4 + Fe^2O^3$	65,90
Perte (eau, oxygène)	14,40
Gangue	14,00
Chaux, etc. (par différence)	5,70
	100,00

ı prenant pour Mn^3O^4 le chiffre de 65,90, on arrive à la te- r maximum en manganèse métallique de 47,53 p. 100.

NOTE ADDITIONNELLE

SUR

LA MÉTALLURGIE DU MERCURE A ALMADEN

Par M. H. KUSS, ingénieur des mines.

Les mines et usines d'Almaden ont été décrites avec détail dans la 1re livraison des *Annales des mines* de 18.. Dans le mémoire consacré à cet établissement célèbre, nous avons signalé l'inexactitude des appréciations d'après lesquelles le traitement usité à Almaden entraînerait des pertes de mercure énormes et démontré que la perte ne dépasse pas en réalité 5 p. 100, au four Bustamente (à aludels), et 6 p. 100, au four dit d'Idria (four à chambres). Nous exprimions en même temps le regret de n'avoir pu recevoir communication d'expériences nombreuses faites en 1872 par MM. L. de la Escosura et F. de Botella, inspecteurs généraux des mines (*).

L'ouvrage où sont consignés les résultats de ces expériences a paru dans le courant de 1878 sous le titre d'*Histoire de la métallurgie du mercure en Espagne.* Il donne sur cette histoire, sur le traitement actuel et *sur la* valeur de ce traitement, des renseignements complets, intéressants et décisifs, dont nous extrayons, en *les* résumant brièvement, ceux qui sont nouveaux. Nous profitons de l'occasion pour rectifier sur quelques points de détail le mémoire publié l'an dernier dans les *Annales des mines* sur le même sujet.

Le premier four employé à Almaden, depuis une époque inconnue jusqu'au XVIIe siècle, dit *xabeca*, était un four à

(*) Voir *Annales des mines*, 7e série, t. XIII, p. 105.

galère contenant ordinairement 21 creusets fermés, chargés chacun de 12 kilog. de minerai et d'une quantité convenable de cendres; on recueillait sur le couvercle du creuset du vermillon et des gouttelettes de mercure mêlées aux cendres.

En 1600, le four primitif fut remplacé par une sorte de four à dôme chauffé extérieurement et contenant des creusets ouverts, chargés encore de cinabre et de cendres. Le mercure se condensait sur la voûte.

Le four à aludels, inventé par Barba, au Pérou, en 1633, fut introduit à Almaden, en 1646 (*). A l'origine, il différait du four actuel par l'absence des chambres de distribution, de celles de condensation, de la cheminée à la porte du foyer, du double plan incliné sur lequel reposent aujourd'hui les aludels; enfin il n'y avait qu'une seule rangée de ces derniers et ils étaient à moitié remplis d'eau. Ce fut de 1660 à 1672 que l'on introduisit ces divers perfectionnements; le four subit encore quelques légers changements, mais, dès 1775, il avait pris sa forme définitive, conservée jusqu'à nos jours. Le seul perfectionnement relativement récent est l'adoption, en 1834, d'aludels percés d'un trou au ventre pour le demi-plan de tête.

Nous n'avons pas à revenir sur la description du traitement qui est conforme à celle que nous avons déjà donnée, sauf en ce qui concerne la durée de la période dite de *brasa* ou de calcination spontanée: nous avions indiqué pour cette période une durée de 45 ou 46 heures, qui est bien en effet la durée de la calcination. M. Escosura la divise en deux parties, la première de 18 heures, pendant laquelle il y a encore de la braise dans le foyer et la deuxième de 24 ou 26 heures, où la braise est éteinte. Ce n'est qu'une question de mots.

La partie la plus nouvelle de l'ouvrage que nous analy-

(*) Et non en 1633, comme nous l'avions dit par erreur.

sons est relative aux températures observées en [illegible] points du four, et au refroidissement du courant gazeux.

Au milieu de la charge, la température n'atteint à aucun moment la température de fusion du plomb (360°).

Pendant la durée de la combustion du bois dans le four, la température du courant gazeux s'élève graduellement, quoique d'une manière assez irrégulière. Après 12 heures elle atteint 140° à l'entrée des aludels. Le courant [illegible] parfaitement régulier pendant la période de calcination, la température continue à croître et atteint son maximum (245 à 260°) aux premiers aludels, après 40 heures environ; au dixième aludel, le maximum (105°) est atteint après 48 heures; au vingt-troisième (aludel du milieu) maximum de 50°, après 50 heures; au dernier, maximum de 39°, après 52 heures; enfin, dans la chambre de condensation, le maximum (29°) est aussi atteint après 52 heures, c'est-à-dire au moment où l'on va ouvrir le four pour le refroidir.

Le tableau suivant montre bien quelle est l'efficacité du refroidissement obtenu; pour éliminer l'influence perturbatrice de la température extérieure, il donne les excès de température du courant gazeux sur les températures extérieures en trois points : premier aludel, milieu de la [illegible] dernier aludel.

TEMPS depuis le commencement de l'opération.	EXCÈS SUR LES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES des températures du courant gazeux.			REFROIDISSEMENT obtenu par la [illegible] des aludels.
	Au premier aludel.	A l'aludel du milieu.	Au dernier aludel.	
heures.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.
2 1/2	30	22	17	13
11 1/2	103	37	27	76
15 1/2	151	19	9	142
18 1/2	171	24	8	163
22 1/2	192	24	7	185
44	239	24	3	236
54 /2	193	18	8	185

Dans les petites chambres de condensation qui terminent la file des aludels, l'excès est, au maximum, de 14°; au minimum, de 4°; en moyenne, de 9°, pendant la période de calcination : c'est assurément un résultat aussi satisfaisant que possible; avec une différence moindre, il n'y aurait plus de tirage.

La régularité du chauffage est due à l'emploi exclusif de l'air chaud pour la distillation proprement dite; pendant la période de feu, la chaleur s'emmagasine dans la grille (construite en briques à claire-voie et de 0m,76 d'épaisseur) et dans la couche de 0m,60 de pierres de carrière qui se place sur la grille; pendant la période de *brasa*, l'air s'échauffe en enlevant progressivement la chaleur précédemment emmagasinée dans la grille; l'idée n'est autre, on le voit, et abstraction faite du renversement du courant, que celle des régénérateurs Siemens.

La forme ovoïdale des aludels facilite beaucoup le refroidissement par la détente qu'elle fait subir aux gaz. La surface de refroidissement pour un four est de 184 mètres carrés. L'œil des aludels les plus voisins du four permet à l'air de s'introduire et d'activer le refroidissement; l'expérience a montré que la suppression de l'œil augmentait d'un 1/2 p. 100 la perte de mercure.

Les expériences de 1872 ont été faites sur quatre charges pesant 36t,428 à la teneur moyenne de 9,55 p. 100 de mercure (supérieure d'une unité environ à la moyenne générale); sur 3.480k,67 de mercure contenu, on en a obtenu 3.337 et perdu 153,67, ce qui donne une perte de 4,41 p. 100 du mercure contenu.

Les résultats sont analogues pour le four à chambre dit four d'Idria. Nous indiquerons seulement les températures maxima en différents points.

POINTS.	TEMPÉRATURE maxima.	TEMPS depuis le commencement de l'opération.
	degrés.	heures.
Communication du four à la 1re chambre. . .	328	31
1re — . . .	240	27
2e — . . .	84	27
3e — . . .	76	47
4e — . . .	36	11
5e — . . .	28	11
6e — . . .	23	11
7e — . . .	19	23

Pour déterminer la perte, on passa, en six cha 139^t,740 à la teneur moyenne de 10,02 p. *100*, conte 14^t,011 de mercure. On en retira 13^t,142, ce qui re sente une perte de 6,20 p. 100 du mercure contenu.

Comme conclusion, l'auteur estime que, si l'on pou par l'emploi des fours Siemens, éviter la production de poussières au commencement de l'opération, les four aludels, avec des ouvriers intelligents et soigneux, sera les appareils les plus simples et les plus parfaits de ceux qu'emploie la métallurgie.

LA MÉTALLURGIE
A L'EXPOSITION DE 1878

PAR M. LAN,
Ingénieur en chef des mines, professeur de métallurgie à l'École des mines.

Avec les magnificences de l'Exposition, semble s'être éteint l'enthousiasme de beaucoup de ses admirateurs : plus d'un, parmi eux, ne voit plus aujourd'hui que le contraste de ses brillants succès avec les souffrances de l'industrie dans le monde entier. Les critiques se sont multipliées contre ces exhibitions internationales, qui, à certains avis, ne vaudraient pas ce qu'elles coûtent : leur utilité ne répondrait pas à leur fréquence.

Ces impressions ont quelque chose du sentiment, qu'au lendemain d'une fête, inspirent à l'homme les réalités de la vie : la crise qui frappe la plupart des industries, et, plus que toutes, l'industrie métallurgique, existait avant; on a pu l'oublier pendant; nous la retrouvons après. A supposer fondés quelques-uns des reproches qu'on lui a adressés, l'Exposition universelle de 1878 a, du moins, cela n'est pas douteux, jeté quelque lumière sur les causes mêmes du malaise industriel dont on se plaint partout.

Elle a mis particulièrement en évidence, après les Expositions de Vienne et de Philadelphie, deux premiers traits caractéristiques des progrès industriels les plus récents : *l'accroissement de capacité productrice* des appareils et engins de fabrication ; — *la création ou le développement* des productions industrielles dans des contrées nouvelles.

On observe ces faits dans presque toutes les branches de l'industrie manufacturière; mais, précisons-les d'abord en ce qui concerne la métallurgie et plus spécialement la métallurgie du fer, avant de parler des progrès propres de celle-ci.

Les modèles de hauts-fourneaux, souffleries, fourneaux divers, marteaux et laminoirs exposés au Champ de Mars, n'étaient que les témoins des puissantes installations qu'on rencontre aujourd'hui dans un grand nombre d'usines sidérurgiques.

On ne réalise les avantages de ces grands outillages qu'avec de grosses productions; autrement, ce qui était progrès technique

incontestable devient une cause de ruine. Qu'on suppose un
comme la Suède, riche en minerais les plus propres à l'[illegible]
des aciers fins ou communs, mais dépourvu de combustible
néral, le seul combustible qui permette les concentrations d'ap
visionnements en rapport avec la capacité productrice des
veaux appareils; — que dans ce pays, on érige des usines [illegible]
outillées comme en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis
ou même simplement outillées au minimum de ce que [illegible]
fabrication nouvelle, et on aura créé une industrie condamnée
souffrir longtemps, sinon à périr (*).

Le mal grandit quand, à la disproportion entre les appro
nements et la capacité productrice des outillages, s'ajoutent
conditions économiques qui ne permettent plus aux usines
border les débouchés extérieurs. Ces difficultés se rencontrent
souvent dans les districts déjà vieux dans la production de
jaloux de conserver une industrie autrefois prospère, ils [illegible]
ment leurs usines; la production s'y développe avec les [illegible]
perfectionnés, mais les débouchés intérieurs ne suffisent pas
l'exportation est difficile, quand elle n'est pas défendue [illegible]
régime douanier de pays qui l'appelaient naguère.

Le second des faits que nous étudions — *la création de nouveaux centres de production*, — a beaucoup aggravé ces premières difficultés depuis dix ou quinze ans. Les chemins de fer que de [illegible]
pays, comme la Russie et les États-Unis, ont commencé par
struire avec le matériel venu d'Europe, y ont changé bien
conditions économiques : en rapprochant les distances, ils ont
rapidement provoqué la mise en valeur de ressources naturelles
peu près vierges jusque-là.

Si l'on en doit juger par les derniers renseignements statistiques
la production de la fonte aux États-Unis aurait presque doublé
1866 à 1876, en dix ans! De 1.200.000 tonnes, elle se serait élevée
à 2.200.000 tonnes, c'est-à-dire au tiers de la production [illegible]
(6.600.000 tonnes) de l'Angleterre (1876) (**), presque deux fois
production totale de la France (1877). En considérant d'ailleurs
que les usines nouvelles se construisent avec tous les perfectionne-
ments qu'une publicité incessante met à la disposition des pays [illegible]

(*) *État actuel de l'industrie du fer en Suède*, par M. Akerman, professeur à l'École des mines de Stockholm (*Revue universelle de Cuyper*, [illegible] juin 1878).

(**) *La houille et le fer dans toutes les parties du monde*, par Joh. Pechar. Paris 1878 (Exposition universelle).

plus lointains, on comprendra de quel poids *ces créations récentes* pèsent et pèseront sur la situation de l'industrie.

En dehors de ces deux premières causes prédominantes de la crise actuelle, il en est d'autres qui touchent plus directement l'industrie sidérurgique, nous voulons parler des progrès si rapides de la fabrication des métaux fondus (aciers Bessemer et aciers fondus sur sole) et de leur substitution aux fers forgés et laminés.

Cette substitution s'est déjà faite pour un grand nombre d'emplois; et, dans les principaux de ces emplois (rails, bandages, etc.), son premier effet a été une diminution de consommation.

D'un autre côté, à mesure que les conditions techniques et économiques de ces nouveaux procédés seront mieux appréciées, il est possible que les premiers déplacements de production qu'ils ont provoqués soient suivis de transformations plus complètes dans l'industrie sidérurgique.

Le premier de ces procédés, le Bessemer, a réclamé d'abord des fontes provenant de minerais riches, purs, manganésés: les ateliers Bessemer, surtout les ateliers opérant en première fusion, devaient se rapprocher des gisements relativement peu nombreux de cette classe de minerais. L'introduction, dans la cornue Bessemer, de matières premières moins choisies a été tentée de bonne heure et par l'inventeur lui-même; plus d'un fabricant a, depuis dix ou quinze ans, varié ses dosages en vue d'économiser sur les composants de qualité, toujours plus coûteux. Les tentatives plus hardies, faites tout récemment, n'ont encore donné aucun résultat positif comme emploi direct des fontes communes à la préparation des métaux fondus; mais il peut sortir de ces essais quelque variante du travail dans la cornue Bessemer, étendant le champ des approvisionnements pour métaux fondus.

Les procédés de fabrication des aciers sur sole, après s'être, comme le Bessemer lui-même, limités à l'emploi de matières premières propres à la fabrication de l'acier, emploient déjà, depuis quelques années, les compositions les plus diverses pour alliages qui n'ont plus de commun avec l'acier que le nom : on a appris, par exemple, à voir dans la fusion sur sole le moyen le plus facile de révivification des riblons divers (vieux aciers, fers ou fontes) à proximité des grands centres de consommation. Peut-être faut-il beaucoup rabattre de l'espoir de quelques personnes, à savoir : que les nouvelles fabrications finiront par employer toutes les sortes de matières premières dont se servait la fabrication des fers forgés et laminés. Il est certain que, tels qu'ils se pratiquent aujourd'hui, ces nouveaux procédés produisent déjà une variété d'alliages

fondus, dont les compositions rappellent beaucoup des produits qu'avait appris à obtenir la fabrication du fer à la houille (méthode anglaise).

Quand on se souvient de la lutte que le fer à la houille eut à soutenir contre le fer au bois, et comment le premier a succédé au second dans la presque totalité de ses emplois, on est porté à assimiler la situation d'aujourd'hui avec celle d'alors : on est porté à croire que les *alliages ferreux fondus* peuvent succéder partout aux *alliages soudés*. Il est cependant quelque chose qu'on ne doit pas oublier : à l'ouvraison, les alliages ferreux fondus supportent beaucoup moins la médiocrité de qualité que les fers soudés les plus ordinaires ; comme conséquence de cette difficulté dans l'ouvraison les consommateurs n'utiliseront pas aussi aisément certains alliages fondus, aussi vite, du moins, qu'ils l'ont fait pour les fers soudés : pour ceux-ci, il n'y a pas exagération à prétendre que plus d'un progrès économique dans les fabrications était dû à l'habileté, chaque jour plus grande, des consommateurs à tirer parti des sortes les plus médiocres de fers soudés à la houille.

Que si, en un mot, il y a quelques réserves à faire quant à la substitution générale des métaux fondus aux métaux soudés, il n'en est pas moins constant que les progrès des premiers sont assez grands depuis quelques années pour avoir contribué beaucoup à la crise qui nous préoccupe. Le mot de révolution, si volontiers invoqué par les inventeurs, est bien ici le mot propre pour caractériser les effets de ces nouveaux procédés : révolution pour le moins aussi grosse de conséquences que l'a été celle qu'a produite, il y aura bientôt un siècle, l'introduction du four à puddler et du laminoir.

Voilà, dans ses traits les plus saillants, l'histoire du malaise dont souffre l'industrie sidérurgique. Avons-nous besoin de rappeler, en terminant ces considérations générales, que ce malaise a succédé à la période de prospérité si brillante de 1872 à 1874 ? Ces oscillations de la hausse à la baisse, l'industrie les a connues de tout temps : si leur amplitude a, cette fois, dépassé les limites ordinaires, il faut l'attribuer aux coïncidences que nous venons d'esquisser. Mais il faut se souvenir qu'en 1873, beaucoup de personnes avaient la ferme croyance qu'on ne reverrait plus les anciens prix des métaux : or, ils sont aujourd'hui tombés à des cours qu'on n'avait jamais connus, même aux plus mauvais moments des temps passés. Il serait tout aussi téméraire de prétendre aujourd'hui au maintien prolongé des cours actuels.

Pour ce qui concerne particulièrement notre pays, la crise

perdra plus vite de son intensité que chez quelques-uns de nos voisins : nous sommes moins engagés, qu'eux dans un commerce extérieur qui semblait promettre des débouchés illimités à tous les accroissements de production et qui, au contraire, les perd peu à peu. Nous avons un territoire étendu, dont la superficie est loin d'être également bien cultivée; elle n'attend pour cela que le complément de ses voies de communication : l'établissement de celles-ci, le développement agricole qui s'ensuivrait, voilà des débouchés qu'il dépend de nous de garder et qui suffiront à absorber les quelques excédants de production qu'on peut reprocher à nos forges depuis quelques années; il suffira pour cela d'un peu de prudence dans le remaniement, actuellement à l'étude, de nos tarifs douaniers. En tout cas, il y a là plus d'une raison d'espérer le retour de meilleurs jours pour une industrie où, depuis une vingtaine d'années, les chefs d'entreprises ont dépensé tant de capitaux et le personnel technique tant de travail et d'intelligence!

Nous nous attacherons d'abord, dans ce qui va suivre, aux progrès de la sidérurgie; nous nous bornerons ensuite à montrer, par quelques exemples, comment cette partie de la métallurgie a réagi sur plusieurs autres branches de cet art.

Observons encore que les progrès, quelque rapides qu'ils soient, ne sont pas si instantanés que, d'une exposition à l'autre, on puisse constater de grandes nouveautés; mais ces exhibitions internationales apprennent à distinguer celles des inventions qui ont décidément réussi et à mesurer le temps qu'il leur a fallu pour cela.

La plupart des résultats industriels qu'on a constatés aux dernières Expositions universelles s'annonçaient déjà à l'Exposition de Paris en 1867, et même à l'Exposition de Londres en 1862; une revue rapide, comme celle qui nous occupe, doit surtout s'attacher à ce côté historique des procédés devenus réellement pratiques. C'est donc à ce point de vue que nous allons examiner successivement les progrès accusés par l'Exposition de 1878; ils peuvent se grouper sous les titres suivants:

1° Production des hautes températures,

2° Préparation de matériaux réfractaires réclamés par ces hautes températures;

3° Construction des fourneaux de diverses sortes;

4° Matériel mécanique des ateliers sidérurgiques;

5° Divers modes d'essais des fers et aciers; leur classification;

6° Nouveaux procédés de fabrication et d'ouvraison des fontes, aciers et fers.

§ Ier. — Production des hautes températures.

Il y a plus de quarante ans que la question du chauffage métallurgique par le gaz a été posée et étudiée : ce n'est pourtant que depuis l'Exposition de Londres, en 1862, qu'on a vraiment songé à tirer de ce mode de chauffage tous les avantages qu'il promettait.

On savait, par des essais pratiques remontant presque au commencement de ce siècle, que l'on pouvait utiliser à des chauffages accessoires les gaz perdus de certains fourneaux, notamment des hauts-fourneaux. On apprenait, de 1830 à 1840, les principes de la gazéification des combustibles; les règles pour la meilleure combustion des gaz étaient alors posées par les chimistes et métallurgistes français, allemands et anglais. La nécessité du chauffage préalable des gaz combustibles et de l'air comburant était une des règles les plus recommandées. Et cependant, jusque vers 1860, on n'avait fait de ces règles et principes que des applications locales et restreintes.

Cela tenait, d'une part, à ce qu'on avait trop souvent compliqué inutilement les gazogènes et, encore plus, à ce qu'on n'avait pour le chauffage préalable de l'air et des gaz que d'appareils tubulaires en fonte tout à fait insuffisants en pratique.

On avait bien, dans quelques réverbères à chauffes gazogènes, adopté le principe des parois creuses, à l'intérieur desquelles circulait et s'échauffait l'air destiné à brûler les gaz sortant de la chauffe (systèmes Boëtius et autres) : on faisait là un peu timidement ce que l'on faisait à peu près à la même date dans une branche importante de la métallurgie générale, dans la fabrication du coke : là, les fours à parois pleines disparaissaient devant les fours à parois creuses où l'air s'échauffait avant d'atteindre les gaz de la distillation pour produire la chaleur même nécessaire à la carbonisation (fours Appolt, Knabb, Smet, etc.).

M. Siemens, en 1861, après deux ou trois ans de tâtonnements, faisait faire un pas considérable au chauffage par le gaz. Séparant le gazogène des fours proprement dits, il le disposait sous forme d'une simple cuve, avec grille inclinée, à gradins pour certains combustibles, cuve où l'air était appelé par le tirage naturel d'une cheminée placée à l'arrière du ou des fours alimentés par le gazogène. Les gaz brûlés sur la sole des fours se divisaient, avant de gagner la cheminée, en deux courants circulant dans deux compartiments placés sous la sole et remplis de briques en chicane, qui prenaient rapidement aux gaz brûlés leur haute température.

Après un temps convenable, cette circulation était interrompue ou renversée : là où passaient les gaz brûlés, des conduits amenaient séparément les gaz neufs du gazogène et l'air destiné à les brûler ; les flammes ou gaz brûlés étaient appelés dans deux autres compartiments placés comme les premiers et jouant le même rôle. De ce mouvement alternatif, réglé par des vannes de construction fort simple, il résultait que la chaleur des gaz brûlés était *récupérée* par l'air et le gaz à brûler, et ramenée ou *régénérée* sur la sole qu'ils venaient de quitter.

En définitive, cette combinaison d'appareils réalisait à la fois *la meilleure utilisation* de la chaleur autrefois perdue dans les réverbères ordinaires et des *effets thermométriques* d'une intensité proportionnelle à la température qu'avaient prise l'air et les gaz dans les récupérateurs, c'est-à-dire des effets thermométriques inconnus jusqu'alors.

Une des premières applications de ce mode de chauffage se fit aux fours à fondre l'acier en creusets : des modèles de fours, propres à cet usage, figuraient à Londres en 1862. Presque en même temps, les fours Siemens s'essayaient à la fusion du verre et à la fusion de l'acier sur sole sans creusets. Quelques années plus tard, ils se répandaient dans les forges, pour les diverses sortes de réchauffages, et dans beaucoup d'autres usines métallurgiques.

Le succès des réverbères à récupérateurs ne se généralisa pourtant qu'assez lentement : tout simple que fût leur dispositif, encore fallait-il former un personnel apte à le manier ; cette condition, qui retarde souvent la mise en pratique de bien des inventions, était particulièrement importante ici, car il fallait que ce personnel apprît à régler la production des gazogènes en gaz combustibles, sur la consommation des fours, à doser l'air et les gaz d'une façon pour ainsi dire mathématique. Cela obtenu et souvent avec des combustibles de nature variable, il fallait ensuite apprendre à espacer convenablement les renversements des courants gazeux.

Il se passa donc quelques années avant que les usines eussent un personnel de chauffeurs bien dressés à ce nouveau mode de chauffage.

D'un autre côté, bien que l'inventeur eût, dans ses brevets, décrit les formes spéciales à donner aux réverbères de son système pour les principales applications qu'on en pouvait faire, il y eut plus d'un tâtonnement avant que les meilleures dimensions fussent trouvées dans chaque cas particulier. Appréciant mal les effets calorifiques de ces appareils, on commença généralement par donner des capacités trop réduites aux fours Siemens ; il arriva

pour eux ce qui était arrivé pour la cornue Bessemer ; on re- nut à la pratique que le travail y était d'autant mieux assuré la capacité intérieure des fours était plus grande : pour ne p... que des fours Siemens à fondre les métaux, l'acier notamment, lieu de laboratoires pouvant fondre 2 à 3 tonnes par opérati... on préféra bientôt des laboratoires capables de 5, 10, et mê... 15 et 20 tonnes, comme on en rencontre déjà beaucoup aujourd'...

En même temps qu'on reconnaissait la supériorité de ces f... agrandis, on revenait aussi des formes plus ou moins compliq... données trop souvent dès le début, au profil intérieur des réve... Siemens : à des voûtes à double ou triple courbure, épou... toutes les ondulations de la sole, par exemple dans les fou... bassin intérieur, on substituait des voûtes à simple courbure, ... trées en sens contraire de la sole, de façon à présenter le maxi... de hauteur au milieu du four. Il devenait facile de disposer ... les carneaux d'arrivée d'air et de gaz, de façon à éviter les co... de chalumeau sur les parois et surtout sur la voûte ; on rédui... d'ailleurs le nombre de ces carneaux ; parfois à deux pour g... et un pour l'air, et même à deux (un pour gaz et un pour air).

Par ces modifications de profils et dimensions, on parvenait, ... un mot, et particulièrement en France, à tirer des fours Siem... tout ce qu'ils pouvaient donner sans s'exposer à les détruire, ... à les user en quelques jours, comme cela n'arrivait que trop so... vent à l'origine de ce procédé.

Il est à peine utile d'observer qu'à mesure qu'on savait mie... calculer leurs dispositions intérieures, on soignait davantage le... construction, nous le verrons dans l'un des chapitres suivant... Dans certaines usines (en Autriche surtout), on a modifié plus profondément les fours Siemens :

1° On a renoncé à l'un des dispositifs auquel M. *Siemens* tena... beaucoup à l'origine de son invention : on a supprimé la condui... refroidissante du gazogène au four ; rapprochant le premier d... second, on a pu ainsi amener encore chauds aux distributeurs ... les gaz combustibles, et les produits condensables qu'on perdait avec la conduite refroidissante (*).

2° On a déplacé complétement les récupérateurs et au lieu de les laisser sous la sole, on les met au-dessus du massif, en arri... ou sur les côtés des fours, trouvant à cela divers avantages d...

(*) Avec certains combustibles donnant beaucoup de suie et de vapeur d'eau, il importe cependant de conserver à cette conduite assez de longueur pour permettre d'y placer un laveur ou condenseur.

surtout celui d'un accès et de réparations beaucoup plus faciles; le dessous de la sole reste ainsi complétement libre.

3° On a pu, avec cette première modification, établir la sole sur chariot, c'est-à-dire, la rendre mobile, comme la sole d'un four de coupellation anglaise, ce qui permet de l'enlever hors du massif du four pour la réparer; comme conséquence, un four ainsi disposé, est capable d'un travail plus continu et d'une production mensuelle plus élevée : progrès semblables à ceux que les métallurgistes américains ont apportés dans la construction et la réparation du fond de la cornue Bessemer, et qui leur ont permis les productions énormes que l'on sait par paire de cornues.

Tels sont les derniers progrès apportés à une invention qui date de vingt ans et qui, dans la pratique des ateliers, a elle-même fait passer des moyens de chauffage depuis bien plus longtemps à l'étude.

Après les fours Siemens, mentionnons rapidement divers autres appareils qui, depuis 1867, se sont introduits dans les forges parallèlement aux fours Siemens et qui, comme ceux-ci, appliquent les chaleurs perdues au chauffage, non plus des gaz combustibles produits alors par des chauffes gazogènes attenant aux laboratoires, mais seulement l'air destiné à les brûler. Les réverbères Ponsard, Bicheroux, appartiennent à cette catégorie : le chauffage de l'air ne s'y fait plus au contact de matériaux rougis sur le courant de flammes, mais par transmission de la chaleur perdue à travers les parois creuses dans lesquelles circule l'air; c'est l'application sur une plus grande échelle du principe des anciennes chauffes Boëtius. On prévoit, d'après cela, que, tout en pouvant rendre de réels services dans certaines opérations métallurgiques, ces appareils ne sauraient avoir la puissance des fours Siemens : aussi se sont-ils beaucoup moins répandus que ceux-ci.

L'apparition des fours Siemens a ramené l'attention sur l'utilisation des gaz combustibles des hauts-fourneaux dans les opérations à hautes températures. M. de Langlade a étudié les moyens de régulariser le débit et l'emploi de ces gaz sans gêner le travail de l'appareil principal; de plus, par un lavage énergique, il les débarrasse et de leurs poussières et de l'excès d'eau qu'ils peuvent tenir. En cet état, les gaz de hauts-fourneaux semblent donner, dans un four à chaleur régénérée, les températures voulues pour le puddlage de la fonte, pour le soudage du fer et même pour la fusion de l'acier. Le même inventeur, en appliquant ces moyens de distribution et de lavage aux gaz de gazogènes alimentés à la houille et même au lignite, annonce avoir réussi le puddlage dans

les fours Siemens. Quelques-uns de ces moyens, notam[illegible] lavage des gaz, rappellent les dispositifs du four Lundin, connu en 1867. Quelques usines d'Autriche (Prävali) ont [illegible] par le lavage, des résultats analogues au puddlage avec les [illegible] lignites très-médiocres, cendreux et chargés d'eau.

§ II. — Préparation des matériaux réfractaires.

Dès les premières applications de son système de chauf[illegible] M. Siemens se préoccupait de la nature des matériaux réfra[illegible] qu'il fallait pour résister à de pareilles températures; la p[illegible] des matériaux terreux usités jusqu'alors paraissaient insuffi[illegible] De bonne heure, cet inventeur recommanda les briques silic[illegible] de Dinas (Angleterre), et beaucoup d'usines sont restées tribu[illegible] des fournisseurs de ces produits bien connus aujourd'hui.

Cependant, des établissements se sont créés sur le contin[illegible] Allemagne et en France notamment (Muller et Cᵉ à Ivry, Carr[illegible] Cᵉ à Saint-Étienne), pour la fabrication de briques siliceuse[illegible] luttent avec les briques de Dinas, quand elles *ne les remp[illegible]* pas. Mais les briques siliceuses, tout en résistant très-bien à l'a[illegible] tion de la chaleur, présentent des défauts de solidité *ou de c[illegible]* pacité qu'on n'est pas parvenu à faire disparaître, malgré les [illegible] compressions auxquelles on soumet les pâtes avant le *moulage* [illegible] semble que, quelle que soit la composition du mélange (quant[illegible] quelques centièmes de chaux, quartz et quelques centièmes d'ar[illegible] gile, avec ou sans additions alcalines ou autres), la cuisson qu[illegible] la compression ne parvient pas à en souder suffisamment les [illegible] ments. Un autre inconvénient souvent reproché aux briques si[illegible] ceuses, du moins pour les parois des fours de fusion en cont[illegible] avec le bain de métal et scories, c'est leur corrosion rapide p[illegible] oxydes ou silicates métalliques.

De nombreux essais ont été faits, un peu partout, pour sub[illegible] tuer aux briques réfractaires siliceuses des matériaux basiques [illegible] base d'alumine ou de chaux ou de magnésie.

La bauxite a été essayée de bonne heure (1863) aux premièr[illegible] tentatives faites en France pour la fabrication de l'acier *sur sol[illegible]* elle n'a pas réussi. Mais, en dehors des difficultés qu'offrait ce[illegible] matière, à cause de sa teneur en eau et en silice, et du retr[illegible] qu'elle éprouve, il ne semble pas que, dans l'essai dont nous p[illegible] lons, on se soit suffisamment préoccupé de son moulage sous pr[illegible] sion convenable ni de sa cuisson.

L'alumine n'est point, d'ailleurs, la base la plus convenable pour

combattre les effets de corrosion qu'on reproche aux briques siliceuses : la chaux et la magnésie seraient certainement préférables, au moins comme composants prédominants.

Depuis quelque temps déjà, des usines d'Autriche (Donawitz) emploient des briques à base de magnésie, qui, notamment dans les fours à puddler, se montrent bien supérieures aux briques argilo-siliceuses contre l'action corrosive des bains liquides. Ces briques sont faites d'un mélange composé de 12 p. 100 d'argile réfractaire et de magnésite calcinée pour le surplus. Le mélange (après broyage et criblage sur un tamis à trous de 2 millimètres de diamètre) est malaxé et humecté aussi peu que possible, il est moulé et fortement comprimé, puis séché très-lentement et cuit à très-haute température.

Des essais du même genre, dont M. l'inspecteur général Gruner a déjà entretenu les lecteurs des *Annales* (1re livraison de 1879, p. 152), se poursuivent en Angleterre, à propos de garnissages basiques de la cornue Bessemer. Il semble donc que nous touchons au moment de la substitution des matériaux réfractaires basiques aux matériaux siliceux.

§ III. — Construction des fourneaux de diverses sortes.

Les accroissements de capacité que nous avons signalés dans les fours Siemens et analogues se sont introduits dans la plupart des fourneaux métallurgiques, réverbères et fours à cuve.

Ces derniers étaient surtout représentés à l'Exposition, dans la section française, par de très-beaux modèles de hauts-fourneaux, montrant, comme les modèles de réverbères Siemens, Pernot, etc., les soins donnés aujourd'hui à la construction de ces grands appareils. Le trait saillant du mode de construction actuel, c'est la part de plus en plus grande faite aux matériaux métalliques comme armatures, enveloppes ou supports des maçonneries, parfois même comme éléments des parois intérieures des fourneaux.

Il y a déjà longtemps qu'on connaît le type des tours de hauts-fourneaux montés sur colonnes en fonte. Ce type laisse l'accès complétement libre sur tout le pourtour des œuvres basses du massif réfractaire que l'air baigne et rafraîchit extérieurement.

On a chaque jour aminci davantage les parois découvertes du creuset, de l'ouvrage et même d'une partie des étalages; en outre, au lieu de les armer simplement de quelques cercles comme autrefois, on les a consolidées par de forts cadres en fonte autour des tuyères, c'est-à-dire dans les régions qui s'usent le plus vite

depuis qu'on se sert de l'air surchauffé qui sort des appare
chaud en terre (Whitwell ou Siemens-Cowper). On a prati
plus en plus le refroidissement par des aspersions d'eau, ou
en encastrant, à diverses hauteurs du creuset, jusqu'aux éta
des caisses ou sortes de voussoirs en fonte à doubles paroi
lesquels circulent des courants d'eau, comme dans les tu
elles-mêmes. Par ces moyens, combinés avec quelques autre
tamment avec l'emploi de tuyères en cuivre de grandes lon
pouvant porter le vent, loin des parois, à l'intérieur des
fourneaux, on est parvenu à conserver les parties basses,
dans les allures les plus chaudes et avec des laitiers manga
toujours plus ou moins corrosifs.

Le massif même de la tour extérieure a été allégé comme
çonnerie et renforcé comme armatures métalliques; mais la
pression complète de ce revêtement extérieur, tentée dans
ques usines, ne s'est pas généralisée, non plus que sa construct
en briques creuses.

Enfin, parmi les accessoires des hauts-fourneaux, citons
les conduites d'air et de gaz en tôle convenablement renforcé
sant supports à la plate-forme du gueulard; les monte-ch
pneumatiques, complétement métalliques, dont les cylindres
forment colonnes portant le pont qui réunit les gueulards de
fourneaux voisins; enfin les appareils à air chaud eux-mêmes
leurs conduites énormes, avec leurs enveloppes continues
rivée, garnies à l'intérieur d'un revêtement réfractaire, rem
peu à peu les anciens appareils à tuyaux en fonte et em
eux aussi, autant, sinon plus, de fonte et fer ouvrés et
maçonnerie.

Voilà, pour les hauts-fourneaux, par quels moyens on est par-
venu à établir solidement les énormes appareils que chacun con-
naît, sur le minimum d'espace possible, avec toutes les facilités
pour les réparations, réparations d'autant moins fréquentes, d'ail-
leurs, que la construction est plus soignée. On se figure aisément
ce qu'eussent été de pareilles installations, s'il eût fallu conserver
les anciens massifs en maçonnerie avec leurs quelques tirants
fer et quelques marâtres en fonte au toit des embrasures!

Pour les réverbères, les ingénieurs expérimentés du matériel
forges avaient de bonne heure remplacé, notamment dans le
puddlage, les épaisses maçonneries extérieures, étayées de quel-
ques cadres en fonte et en fer par de fortes armatures en fonte
enveloppant à peu près complétement le garnissage réfractaire très
aminci, la voûte étant elle-même réduite à l'épaisseur réfractaire

Ce mode de construction devenait obligatoire déjà pour les chauffes à parois creuses (modèle Boëtius) beaucoup moins solides, en raison de leurs vides; mais il devait se généraliser encore plus avec les fours Siemens, surtout avec le modèle primitif où les récupérateurs étaient placés par dessous le laboratoire. C'est certainement parce qu'on ne les avait pas suffisamment armés, que les premiers fours Siemens ont souvent fourni des campagnes si courtes et occasionné des frais d'entretien si élevés !

Peu à peu, on a mieux apprécié aussi les efforts considérables qu'en raison des dilatations dues à leurs hautes températures, les parois de ces fours ont à subir. En donnant aux plaques d'armatures des formes et dimensions proportionnées aux vides, à la capacité des laboratoires, on est parvenu à limiter les réparations à celles du revêtement intérieur. Ayant, d'ailleurs, diminué ces réparations par les soins dont il a été parlé ci-dessus, soins dans le meilleur profil intérieur, soins dans le choix des matériaux réfractaires, on a réalisé, dans ces appareils chaque jour grandissants, la continuité du travail, condition indispensable de tout progrès industriel.

Nous pourrions citer des usines où des réverbères de cette sorte font aujourd'hui des campagnes d'un mois ou deux sans réparation sérieuse quand, dans le début, pour le même travail, on ne parvenait à les tenir en feu qu'une ou deux semaines. Un des ingénieurs qui, en Autriche, ont le plus étudié la construction des fours à gaz à chaleur régénérée, M. Prochaska, directeur de l'usine de Gratz, nous affirmait récemment avoir obtenu, dans un de ces fours appliqué à la fabrication de l'acier sur sole, une marche continue, sans réparation, de six à sept mois !

Nous en avons dit assez, pour faire comprendre la part de progrès due à l'art de la construction en ce qui concerne les fourneaux, c'est-à-dire l'outillage tout spécial de la métallurgie. Si nous n'étions limités par le cadre de cette revue, nous pourrions, en nous aidant des beaux modèles d'installations qui se trouvaient à l'Exposition, montrer que, dans la construction générale des bâtiments et ateliers, on retrouve des progrès analogues : distribution méthodique des espaces, ampleur et solidité des constructions, grâce à l'emploi croissant des matériaux métalliques. Enfin, nous allons voir la place qu'a prise l'outillage mécanique dans les ateliers sidérurgiques.

§ IV. — Matériel mécanique des usines sidérurgiques.

Nous avons peu à dire ici des *machines motrices, à vapeur ou autres*, en usage dans les fonderies, forges et aciéries : questions de mécanique générale qui rentreraient dans l'examen de l'Exposition à un autre point de vue.

Les progrès réalisés, particulièrement dans les machines motrices à vapeur, par les nouveaux systèmes de distribution et de détente (types Compound, Corliss, etc.), qui ont frappé tant de visiteurs de l'Exposition de 1878, intéressent peut-être plus l'industrie générale que la plupart des ateliers sidérurgiques. Sauf le cas du soufflage des fourneaux, opération à très-peu près continue, les moteurs métallurgiques ont à fournir le plus souvent un travail intermittent qui se prête mal à la recherche des dernières économies dans l'emploi de la vapeur.

On n'observe, en effet, quelques-uns des perfectionnements auxquels nous venons de faire allusion, que dans les grandes souffleries de hauts-fourneaux, dont les dispositifs ont d'ailleurs peu varié depuis 1867 : c'est toujours le type vertical connu dès cette époque. Ce modèle de soufflerie verticale a même fini par se substituer, dans les ateliers Bessemer, au type horizontal que l'inventeur avait proposé aux débuts de son procédé.

Dans les moteurs des divers ateliers de laminage du fer et de l'acier, le constructeur, sans négliger les éléments d'amélioration indiqués ci-dessus, doit se préoccuper, davantage encore, de la stabilité de ces engins chaque jour plus puissants, de la bonne répartition des masses et enfin de la simplicité des transmissions aux outils actionnés. Les galeries de l'Exposition de 1878 n'offraient à cet égard, par rapport à l'Exposition de 1867, qu'une nouveauté vraiment saillante, la machine commandant le laminoir reversible à rails exposé par les établissements Cockerill (Seraing) : nous aurons l'occasion d'y revenir dans un instant en parlant des appareils de laminage.

C'est plus encore dans l'outillage proprement dit, que la mécanique a pris une part croissante dans les installations sidérurgiques : on l'a compris à la vue de modèles comme celui du pilon de 80 tonnes exposé par le Creuzot. De même, les dimensions des spécimens de blindages, tôles, fers profilés, que renfermaient les galeries de l'Exposition de 1878, disaient assez que les laminoirs ont, comme les marteaux pilons, encore grandi depuis 1867.

Mais, ce que ne montrent pas les Expositions, c'est la variété et la perfection des agencements mécaniques qui sont aujourd'hui

l'accompagnement nécessaire de ces grands appareils. Déjà, en 1867, on était émerveillé de voir des plaques en fer laminé de 1 à 2 mètres cubes, c'est-à-dire de 8 à 12 tonnes. En 1878, on fait couramment, dans plusieurs usines, des plaques laminées de 25 à 30 tonnes, et ces énormes masses de fer circulent des bancs de paquetage aux fours et des fours aux trains avec la même facilité qu'autrefois les paquets de quelques quintaux. Tout cela, grâce à des appareils mécaniques de levage et manutention distribués autour des fours et des laminoirs : grues hydrauliques ou à vapeur de 30, 40, 60 tonnes et plus; chariots porteurs dont le mouvement alternatif correspond à l'entrée et à la sortie des pièces entre les cylindres. Parfois, comme dans les usines anglaises qui s'occupent de ces fabrications, les manœuvres de ces gros produits se font encore plus simplement par des treuils mécaniques faisant glisser directement, des fours aux trains, les paquets à souder et laminer.

Il faut un outillage accessoire du même genre à un pilon comme celui du Creusot, destiné à forger des arbres, des plaques, des canons de hauts poids: autour de cet engin, sont les fours (à gaz) munis de grues hydauliques de 100 à 150 tonnes, manœuvrant dans tous les sens les charges, des fours au pilon et sous le pilon; les portes mêmes des fours sont actionnées par des moteurs hydrauliques. Il va sans dire que de pareils outillages sont complétement métalliques comme les bâtiments mêmes qui les abritent.

Ces outillages, le dernier surtout, rappellent les combinaisons mécaniques par lesquelles Bessemer a fait passer dans la pratique l'invention qui porte son nom. Quelqu'ingénieux que fût le principe de l'invention, il est certain qu'elle n'eût pas prospéré si vite avec l'appareil fixe imaginé d'abord, ni avec la cornue primitivement mue à la main. Dès qu'on reconnut surtout la nécessité d'agrandir la cornue, il fallait une manutention mécanique à de pareilles masses fondues; il fallait le système hydraulique et ses transmissions souterraines pour les mouvements si complexes d'un matériel énorme, concentré sur un si petit espace.

Le plan général du matériel Bessemer servit encore de modèle aux ateliers de fonderie de fonte ou d'acier sur sole : combiné avec les grands fours Siemens dont il a été parlé § 1, il a permis la préparation des moulages pesants et des énormes lingots dont l'Exposition renfermait de nombreux échantillons.

Il est inutile d'ajouter que ces outillages mécaniques n'ont pas seulement apporté la possibilité de ces grandes fabrications: ils ont, de plus, en substituant la machine à la main de l'homme, réduit la part de la main-d'œuvre dans les frais de fabrication.

Ils ont, à cet égard, continué les progrès déjà constatés par les Expositions antérieures à propos de procédés moins grandes, dans la moulerie mécanique des tuyaux en fonte, dans le laminage des gros fers, en barres marchandes ou profilées, dans le laminage des rails, des tôles, etc.

L'outillage de quelques-unes de ces dernières fabrications ne semble pas avoir notablement changé depuis l'Exposition de 1867; quelques améliorations de détails seraient peut-être à signaler dans l'outillage de la moulerie et dans le laminage des fers marchands ou profilés; mais c'est surtout dans les ateliers de gros fers profilés, de rails et de tôles, que le progrès s'est le plus accusé pendant les dix dernières années.

Et d'abord, sous le rapport des dimensions, ce que l'on considérait en 1867 comme des tours de force: les tôles à grandes surfaces et surtout à grandes largeurs, les fers *profilés à larges ailes* de hauteurs de 30, 40 et même 50 centimètres, sur longueurs de 15 à 20 mètres, les rails de plusieurs dizaines de *mètres de longueur*, tout cela est devenu, dans quelques usines, produits absolument courants et non plus seulement pour le *fer, mais pour* l'acier ou le fer fondu. Il a fallu, pour en arriver là, refaire un d'un ancien train, augmenter la puissance des moteurs, *la vitesse* des laminoirs, en même temps que leurs dimensions, mais il a fallu aussi améliorer encore le matériel de manutention des *poids correspondant* à ces accroissements de dimensions. Beaucoup d'usines ont conservé les dispositifs connus depuis longtemps dans les forges : laminoirs trios ou duos à releveurs mécaniques, laminoirs à changement de marche, c'est-à-dire, à renversement de mouvement sur les trains mêmes; elles ont simplement *accru* l'échelle de la construction en la complétant par des grues, chemins de fer aériens, etc., pour la manœuvre mécanique des *matières et du* du matériel des trains; en adoptant, en outre, des dispositions d'ensemble permettant le transport, pour ainsi dire *automatique*, des produits sur les bancs de réception et de contrôle. C'est par l'ensemble de ces moyens qu'on est parvenu, en Europe *et surtout* en Amérique, aux productions considérables qu'a signalées au fur et à mesure la Presse industrielle.

Une modification plus radicale a été apportée tout récemment à la construction des laminoirs à rails et des laminoirs à tôle; nous voulons parler du *système dit reversible*. Un ingénieur anglais, M. Ramsbottom, directeur de l'usine de Crewe, avait appliqué le principe de ce système, avant 1867, au dégrossissage des lingots d'acier; mais l'idée, reprise par les ateliers Cockerill (Seraing) en

Belgique, fût poussée plus loin et donna naissance à un double train, l'un de dégrossissage et l'autre de finissage. Chacun d'eux est commandé par une machine horizontale à deux cylindres couplés, sans volant, actionnant un même arbre de transmission, et pouvant, par une coulisse de changement de marche, renverser son mouvement à chaque passage de la barre, du lingot, dans le laminoir. Au train dégrossisseur, composé d'une seule cage, où la vitesse du train doit être réduite, l'arbre de la machine motrice porte un pignon commandant un engrenage calé sur l'axe du cylindre-laminoir inférieur. Même dispositif quand il s'agit d'un train de tôles. Mais, au train finisseur de rails, composé de deux cages, l'arbre même de la machine est sur l'axe des cylindres-laminoirs inférieurs qu'il conduit directement, faisant pour chaque passage un nombre de tours correspondant à la longueur de la barre. Les cylindres-finisseurs sont disposés de façon à lâcher la barre finie au niveau du sol : elle court sur des galets mus mécaniquement, jusqu'aux scies qui la découpent en rails de longueur voulue. Enfin, les deux trains, quand il s'agit de rails, sont disposés parallèlement et les produits du dégrossisseur vont, avec ou sans réchauffage, selon les dimensions des barres, au train finisseur.

Pour ne parler que de ce dernier train, le renversement du mouvement s'y fait instantanément à la fin de chaque passage, et sans choc, la machine s'arrêtant à contre-vapeur et les masses en mouvement étant d'ailleurs très-peu considérables : la barre peut ainsi passer presque continûment dans un sens et dans l'autre, une fois le personnel, d'ailleurs peu nombreux, habitué au maniement des appareils. En outre, la barre conservant sa chaleur, peut passer pour ainsi dire à toute longueur, si la machine est suffisamment alimentée de vapeur. On conçoit, d'après cela, que ce système se prête aux plus grandes productions journalières et au laminage des rails à double, à triple et quadruple longueur, selon la dimension du rail en fabrication.

Les premières machines qu'a construites Seraing avaient la distribution par tiroirs, avec très-faible détente et des condenseurs puissants : il faut, en effet, avec ce mode d'action directe de la vapeur sur les laminoirs, que non-seulement on puisse disposer toujours d'une source abondante de vapeur, mais aussi que la condensation soit parfaitement assurée. Depuis, et dans le train finisseur qui figurait à l'Exposition, on a adopté pour la machine motrice une distribution à soupapes, munie d'un dispositif très-simple pour le changement de marche, dispositif qui permet l'usage d'une détente beaucoup plus étendue. Cette modification

est un perfectionnement incontestable en ce que, pour ces limites de la production, il peut réaliser des économies de m que l'on ne pouvait obtenir avec le système primitif.

Terminons ce qui concerne le matériel des usines par un examen des tentatives faites pour introduire la mécanique dans les manipulations métallurgiques elles-mêmes. C'est surtout le travail du puddlage qu'ont eu ici en vue les inventeurs; quelques-uns ont cependant visé à la fois le puddlage et la fabrication de l'acier sur sole. Bien que, pour beaucoup de personnes, le puddlage doive disparaître devant les nouveaux procédés de fabrication des alliages ferreux fondus, il n'est point sans intérêt de constater, d'après les faits de l'Exposition de 1878, où en est ce problème du puddlage mécanique.

Des deux types principaux de puddlages mécaniques, le plus simple est celui où, dans un four ou sur une *sole fixe*, l'outil du puddleur est actionné mécaniquement (systèmes Lemut, Espinasse...); la substitution de la machine aux bras de l'homme *n'est* que partielle, et les avantages économiques sont relativement peu considérables, surtout parce que, par la nature même des *appareils*, on ne peut pas, dans les fours, user de charges considérables (les charges sont à peine doubles de celles traitées dans *les fours* à puddler ordinaires). Cependant, tels qu'ils sont, et même avec les derniers perfectionnements qu'y a apportés M. Lemut (voir *Annales des mines*, 2[e] livraison de 1878), les fours de ce premier type sont simples et peu coûteux : ils modifient peu le travail ordinaire, et une fois installés dans une usine, on a pu continuer à s'en servir, bien que ce ne soit pas là une solution du problème en question.

Les fours de puddlage mécanique du second type, c'est-à-dire *les fours rotatifs de Danks, les fours à sole tournante de* Pernot, *à sole oscillante de Mennessier*, etc., présentent *tous*, avec des complications de construction plus ou moins grandes, l'inconvénient de mettre en mouvement des masses relativement considérables par rapport aux charges de fonte traitées. Les garnissages sont par là même très-difficiles à conserver; enfin, en réalité, dans ces divers procédés, pousser le travail mécanique jusqu'à la formation des loupes, l'affinage final (la période de *soulèvement* du procédé ordinaire) devient ou impossible, ou très-difficile, surtout quand on veut opérer sur les fortes charges que permettent ces appareils.

Le four Danks modifié qu'exposait le Creusot, sous le nom de *four rotatif Bouvard*, présente quelques dispositions ingénieuses, comme la double paroi à circulation d'eau, et la nervure trans-

versale qui doit diviser la loupe en deux; mais, à supposer qu'on assure mieux ainsi la conservation du garnissage intérieur et le parachèvement de l'affinage des loupes, les autres inconvénients du système Danks ne nous semblent pas avoir disparu.

Nous avons vu reparaître aussi à l'Exposition, sous le nom d'appareil Godfrey Howson, la marmite puddleuse d'Œstlund, essayée en Suède, et sans grand succès, peu après l'apparition du procédé Bessemer; nous n'avons rien vu dans les détails de construction du nouvel appareil qui pût faire espérer mieux aujourd'hui qu'alors.

En un mot, si les puddleurs mécaniques de ce second type ont eu quelques succès partiels, ils ne se sont pas répandus dans les usines à fer proprement dites. Peut-être a-t-on mieux réussi quand, au lieu de fer doux à souder, on y a fait simplement, avec de bonnes fontes d'ailleurs, *des blooms* à fondre sur sole de fours Siemens; mais quelques-uns d'entre eux, le four Pernot particulièrement, ont été, au contraire, adoptés pour la fabrication directe de l'acier fondu sur sole.

Une note publiée, il y a deux ans, dans ce recueil, par M. l'ingénieur Henry, a fait ressortir les avantages économiques de cette application du four Pernot. La rotation de la sole semblait activer la fusion et l'incorporation réciproque du fer et de la fonte contenus dans la charge. Peut-être ce résultat tenait-il plutôt à la capacité du four, à ses dispositions intérieures, permettant de faire la charge en une seule fois; les renseignements fournis par des exposants qui, après avoir appliqué le four Pernot à la fusion sur sole, ont renoncé à la mobilité de la sole, confirment à cet égard les résultats que nous avons constatés personnellement avec des fours Siemens disposés pour recevoir en une seule fois des charges de 5 à 8 et même 10 tonnes.

Les fours à sole rotative et à sole oscillante ont enfin, dans le cours de l'année 1878, reçu une autre application, pour laquelle ils semblent mieux appropriés : M. Krupp, en Allemagne, M. Bell, en Angleterre, ont employé ces appareils dans le mazéage préalable, sur garniture en oxydes de fer, de fontes impures, surtout des fontes phosphoreuses. M. l'inspecteur général Gruner a sommairement décrit cette opération, dite déphosphoration, dans la 1re livraison, 1879, des *Annales*, en même temps qu'il rapportait les récents essais de MM. G. Thomas et C. Gilchrist, d'affinage immédiat des fontes phosphoreuses pour métal fondu dans une cornue Bessemer garnie de briques à bases de chaux et de magnésie.

Ce dernier procédé a été, il y a quelques semaines, essayé en

grand dans une importante usine du Cleveland (nous y reviendrons dans un des chapitres suivants); mais à supposer que cet affinage en une seule opération ne donne pas décidément les résultats qu'on annonce et qu'il faille revenir à la double opération recommandée par MM. Krupp et Bell, il nous paraît, qu'une fois réalisé un bon garnissage à bases de chaux et de magnésie, la cornue Bessemer est le meilleur moyen de faire le *mazéage* ou l'*épuration* des fontes impures, pour les faire sortir liquides et propres à la fabrication de l'acier sur sole. La cornue Bessemer est, en effet, l'appareil le mieux disposé pour le brassage mécanique d'un bain de fonte avec tels réactifs qu'on voudra ajouter au laitier basique que donnerait le garnissage dont s'agit; il nous paraît valoir mieux pour cela que la plupart des appareils rotatifs ou autres fours à puddler mécaniques.

§ V. — Divers modes d'essais des fers et aciers; leur classification.

Si jamais la métallurgie, la sidérurgie surtout, a *pu se dire l'art de fabriquer des alliages métalliques*, c'est aujourd'hui. Il est certain que, même aux temps déjà reculés de la fabrication exclusive au combustible végétal, il sortait des forges des produits de qualités les plus diverses sous le nom de *fers doux*; mais alors les usines étaient groupées par régions naturelles autour de gisements de minerais d'une nature déterminée et à peu près constante pour un même groupe. Il pouvait bien y avoir, dans les usines d'une région, des nuances de qualités tenant à quelques nuances de composition et de richesse des minerais, ou bien à quelques variantes dans les procédés de fabrication; mais le consommateur savait à quoi s'en tenir sur la valeur des marques *Bourgogne*, *Berry*, *Franche-Comté*, etc.; il n'avait pas besoin de longues épreuves pour définir la nature du produit qu'il achetait et les emplois auxquels il convenait.

Les forges au combustible minéral vinrent ensuite s'établir le plus souvent sur les gisements de combustible, à une époque de communications déjà plus faciles et permettant des approvisionnements plus variés de matières premières; les procédés eux-mêmes comportaient des variantes plus nombreuses. La classification des qualités par les noms de *groupes* ou de *régions* devenait déjà moins sûre; à part quelques rares usines, jalouses de conserver leur marque, et qui pour cela maintenaient soigneusement la constance de leurs matières premières et de leurs formules de travail, la

plupart des forges livraient au consommateur des produits qu'il ne pouvait plus accepter ou employer qu'après des essais chaque jour plus multipliés.

Ce que nous disons là des fers proprement dits (barres simples ou profilées, tôles, fils) s'applique également aux fontes et aux aciers de forge, puddlés, cémentés ou fondus, dans une moindre mesure pourtant, du moins en ce qui concerne les aciers, qui supportaient moins que les autres produits la médiocrité dans le choix des matières premières.

L'introduction des nouveaux procédés de fabrication des alliages fondus a bien autrement accru les difficultés de la classification des fers et aciers. Et d'abord, de ce qu'à l'origine ces procédés ont visé spécialement la production de l'acier fondu, on a pris l'habitude de qualifier d'*aciers* tous les produits fondus qu'ils ont donnés depuis dix ans. Or chacun sait que, parmi ces produits, il en est dont la composition et la plupart des propriétés rappellent les fers et nullement les aciers. En second lieu, la facilité que donne, notamment la fabrication sur sole, de varier les dosages et, par suite, la composition et les propriétés des alliages, crée au consommateur l'obligation de faire des vérifications sans fin sur la qualité et, bien souvent aussi, d'apprendre à modifier ses procédés dans l'emploi de métaux si divers, si difficiles à manier.

C'est pour remédier à la confusion qui régnait sur le premier point qu'à l'Exposition de Philadelphie un comité international essaya de définir les fers et les aciers, soudés ou fondus; malgré des résistances qui s'expliquent mal, les décisions de ce comité seront, nous n'en doutons pas, peu à peu acceptées par tous, car elles sont rationnelles et simples, et tout le monde, producteurs et consommateurs, a intérêt à voir clair dans cette première question.

A propos du second point, et pour ne parler d'abord que de la qualité à froid des fers et des aciers, beaucoup d'industriels eussent désiré voir de même sortir de l'Exposition internationale de 1878 une classification uniforme qui pût remplacer les nombreuses classifications particulières qu'on observait d'un exposant à l'autre.

On a récemment proposé de prendre comme éléments de classification :

1° La résistance à la rupture, mesurée en kilogrammes par millimètre carré ;

2° La réduction de section au point de rupture.

Ces bases, en apparence plus simples, ne sont pas plus faciles à

déterminer que celles sur lesquelles sont fondées les classifications qui figuraient, soit à Paris en 1878, soit à Vienne, soit à Philadelphie, quelques années avant, et même déjà à Paris en 1867, c'est-à-dire : limite d'élasticité, résistance à la rupture, allongement p. 100 de la longueur primitive du barreau d'essai.

Quelle que soit la base qu'on prenne, la classification par les essais à la traction présente des inconvénients qui ont été signalés par beaucoup d'expérimentateurs, et que, dans un livre excellent, M. Lebasteur a analysés récemment avec beaucoup de sagacité (*), en montrant quels soins il convient d'apporter dans des expériences, si simples en apparence, pour obtenir des chiffres exacts et surtout comparables entre eux.

Mais, à supposer qu'on parvienne à ces chiffres exacts et comparables entre eux, le classement des qualités à l'épreuve à froid par traction, sur un barreau d'essai, présente d'autres défauts encore plus graves. D'abord, on n'est jamais sûr que ce barreau à dimensions réduites, tiré d'une pièce plus ou moins volumineuse qui a souvent subi inégalement l'action de la chaleur, dont les diverses parties ont été plus ou moins travaillées mécaniquement, on n'est pas sûr que ce barreau représente bien la qualité moyenne de cette pièce. En second lieu, l'essai statique par traction ne rend pas assez compte de la façon dont le métal se comportera à l'essai dynamique, c'est-à-dire quand ses molécules seront soumises à des chocs ou à des vibrations suffisamment intenses. Peut-être, en multipliant les prises d'essai, c'est-à-dire le nombre de barreaux par une même pièce, on peut amoindrir le premier de ces deux défauts ; mais le second est plus sérieux. Citons quelques exemples qui en montreront bien la portée.

Prenons d'abord le cas du fer doux :

Chacun sait que certaines barres, résistant parfaitement et avec allongement même considérable à l'essai par traction, donnent au contraire, au choc, des résultats plus que médiocres; souvent il suffit d'une entaille légère sur une barre de cette sorte pour ensuite, sous un choc très-modéré, déterminer la rupture au point entaillé. Ces faits ne s'observent pas seulement sur des fers phosphoreux, comme on l'a dit quelquefois, nous les avons constatés souvent sur certains fers retenant 2 ou 3 millièmes de silicium et 1 ou 2 millièmes de carbone, et peut-être des traces indosables de

(*) *Les métaux à l'Exposition universelle de* 1878 (Paris, Dunod, éditeur), par M. Lebasteur, ancien ingénieur de la marine, ingénieur de la compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée.

métaux terreux, de soufre et de phosphore, comme on en obtient par le puddlage de fontes blanches ou truitées, faites au coke et à l'air chaud, avec des minerais alumino-siliceux. Il semble que ces fers ou ces alliages ferreux possèdent, si l'on peut ainsi parler, une *mobilité moléculaire* qui les rend particulièrement faciles à écrouir; le point de la barre sur laquelle se donne le coup de ciseau ou de burin, pour faire la légère entaille dont il vient d'être parlé, détermine là un écrouissement local, c'est-à-dire la fragilité qu'on observe souvent au plus petit coup de marteau.

Un fait analogue, quoique d'un ordre différent, s'observe dans la fabrication des plaques de blindage pour navires de guerre. Ce que l'on a surtout demandé jusqu'ici à ces produits, c'est de résister au choc des projectiles sans se fendre ni se fissurer. Un fer doux, donnant le maximum d'allongement à l'essai par traction est la matière première qui, si la plaque est convenablement soudée d'ailleurs, semble la mieux appropriée au but qu'on se propose. Or, qu'on prenne ce fer le plus doux, le plus ductile, mais qu'au lieu de le préparer avec des fontes au bois faites avec des minerais purs, manganésés, on l'ait tiré de fontes au coke et à l'air chaud, même faites avec les mêmes minerais, on s'exposera à des échecs à peu près certains au tir d'essai. Et cependant, non-seulement l'épreuve à la traction donnait, pour les deux fers, des résultats à peu près identiques, mais encore l'analyse chimique ne constatait dans le second que des traces un peu plus sensibles de matières étrangères. Mais un fait semble constant : le fer de fonte au coke à l'air chaud paraît moins *réfractaire* que le fer de fonte au bois, à égalité de soins dans l'affinage. Étant données la haute température et la longueur du réchauffage que doivent supporter ces énormes paquets (de 2 à 5 mètres cubes et plus) avant d'aller au martelage ou au laminage, on conçoit que la différence de réfractibilité se traduise, pour la plaque en fer au coke, après refroidissement, par une texture d'un grain cristallin grossier (grain de fer écroui). La trempe et le recuit qui suivent le laminage ou le martelage de la plaque pourront bien ramener ce grain au nerf, tout comme dans la plaque en fer au bois; des barreaux d'essai à la traction, pris dans le sens du laminage, pourront bien donner encore les mêmes résultats dans les deux cas; mais au tir, on peut être à peu près sûr que la plaque au coke se comportera moins bien que la plaque au bois.

Le fer au bois lui-même n'échappe pas à cette sorte d'écrouissement par la chaleur. Si l'on a, surtout dans les plaques de forte épaisseur, chauffé trop fort, la masse de la plaque prend par re-

froidissement lent, surtout si elle a été finie chaude au lami[illegible] une texture à grain plus ou moins gros que la trempe et le r[illegible] ne ramènent pas toujours complétement au nerf. Dans ce ca[illegible] fer au bois, tout en conservant une résistance et un allonge[illegible] élevés à l'essai par traction, se fissurera ou se fendra au tir pre[illegible] comme le fer au coke : conséquence encore ici d'une mo[illegible] *moléculaire* acquise par l'échauffement à une température voi[illegible] du point de fusion (*).

Qu'on applique les observations qui précèdent aux nom[illegible] produits en fer soudé qui sortent encore des forges, et l'on [illegible] mettra avec nous qu'il y a, pour cette première sorte d'al[illegible] ferreux, des propriétés mécaniques à froid, dont l'essai à la [illegible] tion, même débarrassé de ses nombreuses chances d'inexactit[illegible] ne saurait donner la mesure.

Si ces aperçus sont vrais pour les produits soudés, ils ne [illegible] pas moins pour les alliages fondus. La fusion, quelle que [illegible] nature de l'alliage, produit, et plus marqués, les mêmes effets [illegible] le surchauffement dont il vient d'être parlé, c'est-à-dire une [illegible] *bilité moléculaire* qui explique les altérations de ces métaux, [illegible] connues des consommateurs qui ont eu à les travailler à [illegible] comme à chaud. Sans doute, par des martelages et laminages [illegible] températures appropriées à la nature de chaque sorte d'al[illegible] fondu ; en s'aidant surtout de trempes et recuits convenables [illegible] gradués ; souvent même, avec des métaux simplement [illegible] après fusion, puis trempés et recuits, on obtiendra, à l'essai [illegible] traction sur les pièces finies, des résistances et allongements [illegible] les feraient classer parmi les meilleurs matériaux, si l'on n'av[illegible] craindre les effets ultérieurs des chocs, vibrations, etc. Les di[illegible] rences qu'à cet égard nous avons constatées ci-dessus entre [illegible] fers purs et les fers phosphoreux, siliceux, terreux, etc., entre [illegible] fers de fonte au bois et les fers de fonte au coke, s'accuseront [illegible] n'en pas douter, si l'on compare les aciers purs et homogènes fondus au creuset, où l'on trouve, en dehors du fer et du carbone, à peine quelques traces de matières étrangères, et les alliages mul[illegible] tiples si variés qu'on tire aujourd'hui du Bessemer et de la fusion sur sole.

Bornons-nous à citer, à l'appui de ces observations, quelques faits que nous avons pu constater plus d'une fois.

(*) Notons bien que dans tout ceci, nous visons du fer simplement *ar-chauffé*, mais non pas *brûlé* : dans ce dernier cas, l'essai par la traction lui-même accuse l'altération du métal, altération à la fois chimique et physique.

Dans le tréfilage, on parvient, avec les aciers purs fondus au creuset, même d'un degré élevé de carburation, à préparer des fils de 2 millimètres et moins de diamètre qui conservent, avec une très-haute résistance à la rupture, une flexibilité remarquable; au contraire, avec des aciers sur sole ou Bessemer, moins carburés, mais chargés de doses de manganèse variant de 4 à 8 ou 10 millièmes, et tenant toujours des traces plus ou moins fortes de silicium (1 à 1 millième $^1/_2$), on arrive bien à conserver de hautes résistances, mais toujours moins de souplesse et de flexibilité, toutes autres conditions restant égales d'ailleurs.

Les bandages en acier usités dans les chemins de fer se sont faits tantôt en aciers fondus au creuset et tantôt en aciers Bessemer ou fondus sur sole. Or, tandis que, même un peu durs, les premiers ont souvent fait excellent usage, les seconds, même à degré de dureté moindre, ont souvent manqué en cassant après un certain roulement. De même, les ruptures subites d'essieux en acier ont fait hésiter plus d'une compagnie de chemins de fer à les adopter. N'est-il pas probable que ces ruptures subites, pour des produits qui avaient d'ailleurs satisfait aux épreuves à la traction, sont le résultat de l'altération moléculaire que nous étudions, d'autant plus marquée que les aciers sont moins purs!

Enfin, dans les essais récents de substitution des plaques de blindages en métal fondu aux plaques en fer doux soudé, nous pourrions citer des alliages fondus à 1 $^1/_2$ à 2 millièmes de carbone, 1 à 1 $^1/_2$ de silicium, 2 à 3 millièmes à peine de manganèse et pas traces d'autres éléments : laminés en plaques épaisses, qu'on trempait et recuisait de façon à obtenir à la traction sur des barreaux de prise d'essai, des résistances et allongements en tout comparables à ceux des fers les plus doux, ces alliages, tout en résistant mieux que le fer à la pénétration des projectiles, se fissuraient et se fendaient considérablement plus.

Les applications des alliages fondus à de grosses pièces destinées à supporter des chocs pareils ne sont pas fréquentes : bien certainement, l'instabilité moléculaire que nous avons voulu mettre en évidence par les observations qui précèdent n'est pas à redouter au même degré dans la plupart des objets de moindres dimensions, qu'on fabriquera même avec des alliages ferreux fondus de composition un peu complexe. Nous n'avons voulu qu'appeler l'attention sur la nécessité de compléter les essais à la traction par des épreuves spéciales, qu'on pourrait appeler *épreuves d'écrouissement*, si l'on veut mettre à leur véritable rang, dans la

série des produits sidérurgiques, bon nombre des alliages complexes qu'on fabrique aujourd'hui.

D'un autre côté, les faits que nous avons rapportés montrent encore que, surtout quand il s'agit de grosses pièces martelées ou laminées, la chaleur à laquelle les pièces auront été finies doit avoir une grande influence sur la constitution moléculaire de leurs diverses parties. Selon la position où l'on prendra les barreaux d'essai, les résultats doivent sensiblement varier pour un même métal, et d'autant plus dans les alliages fondus que leur composition est plus complexe.

Observons enfin, pour terminer sur les essais des divers alliages ferreux, qu'indépendamment des épreuves à froid, on continue à faire les épreuves à chaud qu'on a toujours pratiquées dans les forges. Cependant, jusque dans ces derniers temps, on s'attachait moins à ces dernières, pour les métaux fondus, qu'on ne le faisait pour les métaux soudés, précisément parce que les métaux fondus ne semblaient pas d'abord destinés à être jamais soumis aux opérations de soudage. Mais, à mesure que se développe leur emploi et qu'ils se substituent davantage aux anciens fers forgés, on s'est plus préoccupé de leur propriété soudante, et on les a essayés à ce point de vue aussi. On produit très-couramment aujourd'hui des alliages à peine carburés (1 à 2 millièmes $^1/_2$ de carbone), tenant de 1 à 2 millièmes de silicium et jusqu'à 2, 3 et même 4 millièmes de manganèse, et qui sont parfaitement soudables.

En dehors de la soudabilité, la tenue des alliages fondus aux diverses chaleurs auxquelles on peut les travailler est un point des plus importants à examiner sous le rapport de leur ouvraison même dans les forges. A cet égard, il est, entre les métaux fondus les plus pur set certains alliages complexes (carburés, siliceux, manganésés, sulfureux et phosphoreux), des différences plus grandes peut-être que celles qu'on observait entre les fers forgés les plus purs et les fers chargés de matières étrangères (fers les plus communs à la houille). Pour les métaux fondus, plus encore que pour les métaux soudés, l'étendue du palier thermométrique le long duquel la malléabilité et la ductilité se maintiennent, décroît à mesure que s'élève la somme d'éléments étrangers alliés au fer. Plus les alliages se compliquent, plus on doit craindre, d'ailleurs, en même temps que les modifications physiques, les altérations chimiques sous l'action de l'air et de la chaleur, par suite des différences d'oxydabilité de leurs composants.

§ VI. — Nouveaux procédés de fabrication et d'ouvraison des fontes, fers et aciers.

I. *Fabrication des fontes.* — Les perfectionnements de la fabrication des fontes, en tant que travail même des hauts-fourneaux, étaient en germe au moment de l'Exposition de 1867 : déjà à cette époque, on connaissait les grandes productions par appareil, qu'on avait réalisées dans certains districts d'Angleterre. Depuis lors, les hauts-fourneaux à grandes capacités, puissamment soufflés d'air chauffé à 6 et 700 degrés centigrades, se sont beaucoup répandus, en même temps que les appareils à air chaud (Siemens-Cowper et Whitwell). Après les études publiées dans ce recueil par M. Grüner, nous n'avons pas à revenir sur ces sujets. A peine aurions-nous à signaler quelques détails pratiques dans la conduite de ces énormes appareils : la substitution des tuyères en cuivre ou en bronze aux tuyères en fer d'autrefois ; l'accroissement considérable du volume des charges, aujourd'hui doubles au moins de celles pratiquées naguère, accroissement utile à la régularité de l'allure avec la plupart des minerais, mais indispensable dans les fourneaux traitant des minerais riches pour fontes grises à couler directement dans les apppareils Bessemer.

La nouveauté saillante dans la fabrication de la fonte, c'est la production des alliages variés qu'on applique aujourd'hui à la préparation des métaux fondus, fontes manganésées, fontes au chrôme, au titane, au tungstène, etc. ; c'est particulièrement la production au haut-fourneau des *fontes de manganèse* ou *ferro-manganèses*, alliages tenant avec le fer, le carbone et quelques faibles proportions d'autres éléments, de 25 à 75 et 80 p. 100 de manganèse : un échantillon exposé par les hauts-fourneaux de Saint-Louis renfermait même 88 p. 100 de manganèse.

Cette sorte d'alliages, qui a remplacé dans beaucoup de variantes de la fusion sur sole les fontes miroitantes ou *spiegel-eisen*, s'est fabriquée (*) d'abord (1865) en creusets ; puis sur sole de réverbère (1870) par réduction de mélanges de minerais de fer riches et d'oxydes de manganèse, ou même par le traitement de mélanges plus compliqués de ces premiers éléments avec des réducteurs et des parties de fer, d'acier et même de fonte spiegel déjà plus ou moins riche en manganèse. Parallèlement à ces premiers moyens

(*) Voir *Berg und Huttenmännische Zeitung* (juillet 1865, septembre 1870, décembre 1870).

de fabrication naturellement fort coûteux, le haut-fourn
duisait de son côté des spiegels de plus en plus riches en
nèse, d'abord — 5 à 10 p. 100 —, puis de 10 et 20 —, et
au delà de 30 p. 100 de ce métal. Ces derniers résultats
acquis dès 1872 par M. de Pantz au haut-fourneau de S
triche), qui exposait à Vienne, en 1873, des échantillons
jusqu'à 37 p. 100 de manganèse. Depuis, plusieurs usines fr
et étrangères ont encore progressé et sont parvenues a
hautes teneurs citées ci-dessus.

Il n'a été besoin, pour réaliser cette fabrication aux h
neaux, d'aucune des modifications que quelques fabricants
jugées nécessaires : ouvrage et creusets mobiles à parois
phite, de chaux ou de magnésie. On n'eut pas besoin non
préparations préalables plus ou moins compliquées des m
de fer et de manganèse.

Un haut-fourneau ordinaire, muni de bons appareils à
Cowper ou Whitwell ; un lit de fusion où, au *lieu de* [illegible]
fer, on charge tantôt des minerais comme on en rencontre
côte orientale d'Espagne, en Italie, etc., à gangue calcaire
10 à 15, 20 p. 100 au plus de fer pour 25 à 30 p. 100 de man
tantôt avec ces minerais des minerais de manganèse pro[illegible]
dits et à gangue calcaire autant que possible ; un lit de fusion
culé, en un mot, pour donner un laitier extra-basique [illegible]
qu'à 50 et même 52 et 53 p. 100 de chaux ; volume des [illegible]
augmenté convenablement, et cela selon la capacité du [illegible]
neau ; une allure non-seulement chaude, mais d'une lenteur [illegible]
portionnée à la richesse du lit de fusion en manganèse, [illegible]
les moyens par lesquels plus d'une usine, à notre connaissance,
produit couramment des *fontes de manganèse* avec le même
reil qui, avant et après, donnait de la *fonte de fer.* [illegible]
la consommation de coke s'élève en raison du peu qu'[illegible]
en minerais de manganèse par charge de coke ; malgré la [illegible]
et la lenteur de l'allure, malgré la basicité du laitier, on ne [illegible]
pas tout le manganèse introduit au gueulard, mais à peine [illegible]
ou les 4/5 ; on a des frais de façon assez élevés, par suite de [illegible]
duction de production au tiers, à la moitié, rarement, de ce [illegible]
serait en fonte grise de fer. Mais, on a cependant produit [illegible]
meilleur compte les alliages riches qu'on obtenait d'abord [illegible]
chèrement au creuset ; et on l'a fait sans user les parties [illegible]
des fourneaux, comme il arrivait aux débuts de ce mode de trai[illegible]
alors qu'on redoutait les laitiers fusants et les garnissages qui
forment sur les parois de l'ouvrage et du creuset.

II. *Ouvraison des fontes.* — Quelque riche que fût l'Exposition, notamment dans le quartier français, en moulages de fonte (ornementation, moulages usuels, moulages mécaniques, fontes malléables), nous n'avons rien de saillant à signaler comme changements dans ces procédés d'ouvraison. Une seule variété de moulages mériterait ici une mention particulière, nous voulons parler des moulages de fonte trempée ou fonte dure. En 1867, l'Allemagne était au premier rang pour ces produits, comme elle y était pour les moulages d'acier dont nous reparlerons tout à l'heure. Depuis cette époque, cette fabrication a continué d'y progresser, comme l'ont montré certaines expositions de l'Autriche-Hongrie; mais plusieurs usines françaises ont largement suivi dans cette voie leurs concurrents étrangers. Les départements de la Marine et de la Guerre pourraient témoigner de la *constance de qualité* qu'ils ont trouvée depuis 1867 jusqu'aujourd'hui dans certains produits indigènes (Compagnie de Châtillon et Commentry).

Sans entrer ici dans des détails que ne comporte pas cette revue, observons que, plus encore que les fabrications similaires des cylindres trempés, des pointes de cœur des voies ferrées, etc., la préparation d'objets d'armement, c'est-à-dire d'objets destinés à des épreuves à outrance, exige avant tout un choix sévère de matières premières, constamment contrôlé par l'analyse chimique, autant que par les essais mécaniques. C'est, en définitive, une fabrication qui ressemble plus à celle des aciers moulés qu'à celle des moulages de fonte.

III. *Fabrication et ouvraison des fers soudés.* — Malgré la variété infinie des produits de cette sorte qu'on trouvait au Champ de Mars, sous formes de barres ordinaires, de fers profilés, de feuilles, de fils, de pièces de forge, de clouterie, de pointerie, etc., de toutes dimensions, l'intérêt de l'exposition sidérurgique n'était pas là. A peine s'arrêtait-on devant les belles collections de quelques-unes de nos anciennes forges à fer; et pourtant, que de ressources d'outillage elles accusaient, et comme elles témoignaient des efforts incessants que font nos usines dans la voie du façonnage. A toutes les expositions antérieures, la section métallurgique française s'est toujours distinguée par les articles ouvrés : il en a été de même en 1878, et en présence de la lutte du fer soudé avec les métaux fondus, il y a dans ce fait quelque chose de rassurant pour les usines obligées de se transformer.

Cependant, il ne faut pas oublier qu'ailleurs on progresse aussi sous ce rapport : les quelques outils ou métiers exposés. notamment

par les États-Unis, montrent que sous ce rapport, on a
'autre côté de l'Atlantique, plus vite peut-être que chez
glais nos concurrents redoutés d'autrefois.

Avant de passer aux aciers, rappelons que certaines
tamment en Angleterre, n'avaient pas, jusqu'à ces derniers
renoncé à l'espoir de maintenir le rail en fer contre le rail
Elles essayèrent de tirer des rails sans paquetage ni
rieurs des loupes d'une seule pièce sortant des fours
réappliqua aux rails ainsi faits l'ancien procédé de
superficielle de Dodds ; mais, d'après les renseignements
cet égard par M. Lowthian Bell, cette fabrication n'a
de résultats sérieux. (Congrès de l'Iron and Steel Institute
borough, 1877.)

IV. *Fabrication et ouvraison des aciers et des alliages fondus.* — Ce que nous avons dit précédemment de la
des fers et aciers justifie suffisamment le titre que nous
cet article, de beaucoup le plus important du § VI.
suffit d'avoir traversé, dans la section anglaise, *les belles*
tions des usines de Sheffield pour conclure, comme nous
cienne fabrication des aciers, — aciers cémentés *et*
creuset, n'est pas encore détrônée par les nouveaux procédés
Les nombreuses tentatives faites depuis l'invention
et des métaux fondus sur sole, pour produire par ces procédés
aciers à outils, n'ont généralement donné que de médiocres
Les seuls succès, et encore partiels, qu'on ait obtenus
voie, l'ont été en Suède et en Autriche-Hongrie, grâce
l'excellence des matières premières dont disposent ces contrées
tout ailleurs, avec les alliages fondus nouveaux, on n'a pu
des outils communs, mais rien de comparable aux beaux
lons d'aciers au creuset que renfermaient les vitrines des
de Sheffield et d'une ou deux maisons françaises : *aciers au*
seul, tenant depuis 0,60 à 0,75 jusqu'à 1,50, rarement plus
100 de carbone, si parfaitement classés, selon les *teneurs*
6, parfois 7 ou 9 numéros, et définis par les emplois auxquels
cun d'eux convient. On n'use plus ici, pour la classification
essais à la traction ; on sait depuis longtemps, dans les
proprement dites, que les résultats à cet égard ne sont pas
suffisants de la qualité d'un acier fondu pour outils. Nous
à citer plus d'une épreuve à la traction faite sur alliages
sur sole ou au Bessemer, alliages tenant de 0,90 à 1 ou 1,30 p.
de carbone, pas plus de silicium que beaucoup d'aciers fondus

creuset, mais toujours plus de manganèse, provenant de la fusion d'acier puddlé, ou de métal Bessemer fait avec des fontes très-pures, mais au coke et à l'air chaud : les essais à la traction donnaient des résistances et des allongements absolument les mêmes que certains aciers au creuset, et pourtant quelle différence dans les outils obtenus des deux matières! L'outil en acier au creuset conservait tout son corps à l'état de burins, ciseaux, etc., quand l'outil en alliage fondu sur sole s'aigrissait sur les chocs, s'ébréchant ou se brisant après quelques coups.

Sans doute, indépendamment de quelques progrès économiques (notamment le four Siemens pour la fusion) que la fabrication des aciers fins au creuset a empruntés aux procédés nouveaux, elle a depuis longtemps, elle aussi, et, sans le dire bien haut, préparé des aciers au *manganèse*, *au chrôme*, *au tungstène*, etc. Mais avec quelle attention les fabricants, soigneux de leur réputation, distinguent ces alliages spéciaux de leurs aciers à outils proprement dits! On en a pu juger par les catalogues et notes jointes aux Expositions de la maison Holzer (France) sur les *aciers chromés*, des sociétés métallurgiques de l'Autriche-Hongrie sur les *aciers au manganèse* (Usines de Kapfenberg). A la lecture de la note sur les aciers chromés, on aperçoit les difficultés de la fabrication de ces alliages complexes, la variabilité de leurs propriétés à chaud comme à froid, et, cependant, il s'agit là de produits obtenus par petites masses au creuset, c'est-à-dire en vase clos et avec des charges dont le dosage est facile; que serait-ce si on voulait fabriquer ces *composés* par grandes masses, sur la sole d'un réverbère comme l'ont tenté d'autres usines (Terre-Noire, en France)?

Si les nouveaux procédés et leurs produits si variés n'ont pu jusqu'ici rivaliser avec l'industrie des aciers proprement dits, fins et durs, pour outils et quelques autres emplois, il en est autrement quand il s'agit des moulages d'acier et des emplois du fer par ouvraison au laminoir ou au marteau.

Les moulages d'acier se sont faits jusqu'à la date de l'Exposition de 1867 avec des aciers fondus au creuset : chacun se rappelle les lingots d'acier doux sans soufflures que Krupp exposait à Paris en 1855, à Londres en 1862 et à Paris encore en 1867, chaque fois avec des dimensions croissantes. On n'a pas oublié non plus les cloches, en acier plus dur, que les usines allemandes (Bochum et autres) exposaient en 1855 : moulages qui, dès cette époque, faisaient prévoir la substitution de l'acier au bronze. En 1862, à Londres et en

1867 à Paris, nous avons vu aussi les roues pleines en acier à moulé et recuit, en piles venues sur un seul jet de coulée, q[illegible] vaient apportées quelques usines des mêmes contrées.

Tous ces produits étaient obtenus par la fusion au creuset, à des dosages plus ou moins variés, mais où les additions de spiegel-eisen (matière première si abondante sur les bords du Rhin) jouaient déjà le principal rôle : c'était, en un mot, des aciers fondus au manganèse, à doses variables de carbone, moulés tantôt en coquilles, tantôt dans des moules en terre.

Dès que, vers 1865 et 1866, le procédé Bessemer, après [illegible] huit ans de tâtonnements, fut devenu courant dans les usines, il en est plus d'une qui, usant, à la fin de l'opération, d'additions suffisantes de spiegel-eisen et même de fontes grises plus ordinaires comme qualité, avait obtenu des alliages difficiles à laminer ou marteler, mais donnant de très-beaux moulages, parfaitement sains, équivalents, en un mot, à ceux que nous venons de rappeler.

Mais, lorsqu'un an ou deux après l'Exposition de 1867, on eut été maître de la fusion de l'acier sur sole, en expérimentation depuis 1862, c'est-à-dire, lorsqu'après avoir tâtonné comme avec le Bessemer, pendant six ou sept ans, on eut appris à manier, pour ainsi dire à volonté, sur la sole du Siemens, les additions finales manganésées ou autres, alors les aciers fondus sur sole commencèrent à lutter sérieusement avec les aciers fondus au creuset pour les moulages. De 1870 à 1873, plus d'une forge, par exemple, apprit à remplacer ainsi beaucoup d'organes de son outillage autrefois en bronze, puis en acier fondu au creuset, par des moulages en acier plus ou moins dur obtenu sur sole, plus rarement au Bessemer. L'Exposition de Vienne, en 1873, avait déjà mis ce progrès en évidence ; mais l'Exposition de 1878 était plus riche qu'aucune de ses devancières en moulages de cette sorte ; les sections Suédoises, Autrichiennes, Anglaises et Françaises présentaient de nombreux spécimens de moulages en acier de toutes duretés, parfaitement nets de forme et sains de corps. S'il était permis de citer quelques usines, parmi tant de producteurs distingués, nous rappellerions ici les lingots bruts de la Société impériale et royale des chemins de fer autrichiens, où l'on ne trouve pas trace de soufflures ; ses engrenages et ses roues, dont les axes sont tordus à froid, ce qui montre bien, comme la cassure l'indique d'ailleurs, qu'il s'agit là d'aciers moulés doux et très-malléables ; aciers obtenus avec d'excellentes matières premières, suffisamment manganésées, ne retenant que peu ou point d'éléments étrangers en

dehors du fer, du carbone et du manganèse. Nous citerions encore les moulages en acier, coulés au réverbère, de la maison Atwood et Spencer, en Angleterre, en rappelant que M. Ch. Atwood fut le premier qui, en 1862, essaya le four Siemens à la fusion sur sole de fontes manganésées avec le fer.

Les Exposants français ne tenaient pas un rang moins élevé pour cette sorte de produits : presque tous ceux qui préparent les métaux fondus Bessemer et sur sole, ou les aciers au creuset, avaient aussi de très-beaux moulages de toutes dimensions et formes. Sans pouvoir les citer tous, nous devons une mention spéciale à l'une des galeries qui ont le plus frappé l'attention des visiteurs du Champ de Mars, à la collection présentée par la Compagnie de Terre-Noire, et si remarquable à tant d'égards.

Ici, nous ne sommes plus seulement en présence de produits intéressants, mais en face de moyens spéciaux de fabrication : bien qu'ils aient été l'objet de nombreuses publications, arrêtons-nous un instant sur ces procédés. Leur formule est caractérisée par l'emploi de matières toutes spéciales, c'est-à-dire, des alliages de fer, silicium et manganèse, ces deux derniers éléments étant nécessaires, disent les fabricants, pour éviter les soufflures. Bien certainement, sous le rapport théorique, ces aperçus sur le rôle de ces deux composants, sont conformes aux faits observés et constatés antérieurement, notamment par Bessemer lui-même, comme ce dernier inventeur l'a rappelé à l'une des séances de l'*Iron and Steel Institute*. Mais au point de vue pratique, quand on sait combien, et dans la cornue Bessemer et sur sole, avec les procédés courants, il est difficile d'éviter dans les aciers produits la présence de quelques millièmes de silicium, on peut se demander s'il est bien nécessaire d'en ajouter encore. Il semble naturel de croire, avec les autres producteurs de moulages sans soufflures, qu'il suffit, comme autrefois dans les creusets, d'additionner suffisamment de manganèse, qui trouvera toujours dans l'acier assez de silicium pour opérer les réactions dont s'agit, s'il y a lieu. Nul doute, d'ailleurs, qu'on s'exposera moins ainsi que par des additions complexes, à produire des alliages multiples toujours variables à l'emploi.

La fabrication des moulages d'acier s'est complétée de bonne heure par certaines opérations accessoires que nous devons rappeler ici. Nous avons déjà indiqué ci-dessus que les roues en acier coulé de Westphalie subissaient des recuits appropriés à la nature du métal et à ses emplois ultérieurs. On est allé plus loin. Dès

1863, en Angleterre, un métallurgiste éminent, sir J. Whitw fabriquait des objets moulés en acier fondu (canons, proj tiles, etc.), remplaçant toutes les opérations de forgeage (mar lage ou autre travail mécanique) par une trempe à l'eau, à l'hui ou dans tout autre liquide approprié, avec ou sans recuit. Il qu'appliqué alors à des aciers de qualité certainement supérieu à celle des métaux fondus d'aujourd'hui, ce procédé, qui eût porté une simplification considérable dans les moyens d'ouvrer des métaux, ne donna pas les résultats qu'espérait son inventeur. Même pour des formes simples, symétriques par rapport à axes, on a dû rencontrer de grands obstacles déjà dans le moulage quand il s'agit surtout d'acier doux fondant à très-hautes tem ratures et subissant des effets de retrait proportionnés à chaleur initiale du bain de coulée. De ces effets de retrait, vent très-inégaux d'un point à l'autre des pièces, devaient résulter des défauts divers, nuisibles à leur solidité. En outre, la trem même la trempe douce à l'huile, et le recuit, très-efficaces com moyens d'amélioration des qualités physiques et mécaniques métal, deviennent fort difficiles à appliquer à des *objets* volu neux, de formes variées et dissymétriques, parce qu'il est impo sible de chauffer et de refroidir uniformément de *pareils* objets. C'est certainement à ces difficultés qu'il faut attribuer l'abandon que sir J. Whitworth a fait de ce premier procédé et la *préféren* qu'il a décidément donnée depuis à celui de la compression du métal à l'état liquide en lingots de formes simples, avec *forgeage* ultérieur.

Les magnifiques échantillons que ce fabricant exposait en 18 ne sont pas de simples spécimens d'exhibition. Nous avons eu la preuve personnelle que cette remarquable fabrication est à l'état courant dans ses ateliers ; les perfectionnements tout récents (18 qu'il a apportés à ses presses, soit pour la compression du métal liquide, soit pour le forgeage, en les complétant par *le* dispositif de la tête mobile, constituent un matériel coûteux, il est vrai, mais très-pratique. Il ne nous paraît pas douteux *qu'un* métal fondu sur sole Siemens, de bonne qualité première, doive, par ce double procédé de la compression et du forgeage, *complété par* la trempe à l'huile et le recuit, atteindre le plus haut degré de résistance et d'allongement, et même de stabilité molécu*laire*, que l'on puisse désirer dans les produits de cette sorte.

Le procédé de compression à l'état liquide a été appliqué en France par plusieurs fabricants, et, croyons-nous, aussi tôt, sinon même plus tôt, qu'en Angleterre, mais jusqu'ici sur une échelle

ort réduite. Peut-être y a-t-on vu trop exclusivement un moyen 'éviter les soufflures : or, ce n'est pas, pensons-nous, le trait rincipal du procédé tel qu'il est pratiqué par sir J. Whitworth. ans doute la compression, même à des pressions relativement aibles, provoque l'expulsion des gaz contenus dans le métal fondu, surtout avec les dispositifs de lingotières adoptés par M. Whitworth ; mais, pour réaliser l'acier sans soufflures, il est, plusieurs praticiens l'on rappelé dans la discussion à laquelle le procédé Whitworth a donné lieu en 1875 devant la Société des ingénieurs-mécaniciens anglais, il est des procédés plus simples : des procédés que connaissent depuis longtemps les fondeurs d'acier, nous l'avons montré précédemment. S'il n'y avait que cela dans le procédé de compression, il n'y aurait pas lieu de recourir à l'outillage énorme qu'il exige. Mais, il ne faut pas oublier que la compression, dans le système Whitworth, ne s'exerce pas seulement sur le métal liquide; elle se continue sur le métal déjà solidifié : le maintien de la pression jusqu'à ce que l'acier ait pris une température à laquelle il ne peut plus cristalliser en refroidissant, nous semble devoir produire des effets très-importants : effets fort semblables à ceux qu'à étudiés et décrits un habile ingénieur russe, M. Tchernoff (*).

Ainsi s'expliqueraient les hautes résistances et même les allongements élevés que présentent déjà les métaux comprimés de M. Whitworth. Et, rappelons-le encore, à ce premier travail mécanique, succède le forgeage, et le forgeage à la presse, bien supérieur à celui du marteau quand il s'agit d'un métal d'une nature si mobile.

Ainsi compris, le procédé de la compression exige naturellement un matériel tout autrement puissant que celui par lequel on a essayé de l'appliquer en France; mais, pour les objets auxquels se prêtent les dispositifs spéciaux de lingotières qu'emploie M. Whitworth, on peut réaliser ainsi des produits dont la supériorité compense les dépenses de premier établissement et les frais d'ouvraison. Cette supériorité explique, en tout cas, la substitution, chez M. Whitworth, de ce procédé à celui du moulage avec trempe et recuit.

Les fréquentes applications qui ont été faites depuis dix ou quinze ans de la trempe à l'huile sur objets finis (martelés ou

(*) Communication faite par l'auteur à la *Société* technique impériale de Russie (mai 1868), traduite dans la *Revue universelle de Liége*. Livraison de mars-avril 1877.

laminés), canons, frettes, projectiles, etc., ont reporté l'attention des fabricants sur ce moyen d'amélioration des aciers, et même plus généralement des alliages ferreux fondus. La collection déjà citée, que la Compagnie de Terre-Noire exposait en 1878, présentait à cet égard des spécimens fort intéressants de moulages en acier bruts, trempés à l'huile, avec ou sans recuit. Ces spécimens montraient qu'on peut obtenir, par ces manipulations, comme l'annonçait Whitworth en 1863, des effets semblables à ceux que nous attribuions ci-dessus à la compression; mais de là à conclure que le travail de forgeage ou de laminage n'est pas nécessaire à l'acier, nous croyons que c'est aller trop loin. M. Lebasteur, dans l'ouvrage auquel nous avons déjà renvoyé, a montré ce qu'il y a de douteux dans cette opinion.

Bornons-nous ici à rappeler les difficultés qui ont fait renoncer M. Whitworth à ce procédé, difficultés dont nous avons personnellement mesuré toute l'étendue : avec des aciers sur sole, aussi sains que possible, moulés en petites dimensions (projectiles de petit calibre, par exemple), on parvient encore à des résultats assez constants; mais, dès qu'on aborde des dimensions plus fortes (et il ne s'agit encore que de poids de 300 à 350 kilog.), on réussit une fois sur deux, parfois même une fois sur trois, à réaliser un effet déterminé (*).

Ce procédé nous semble présenter un défaut capital : il ne comporte pas assez de latitude dans ses moyens d'action pour une fabrication courante, surtout quand il s'agit de pièces volumineuses et de formes tant soit peu variées.

Arrivons enfin à la fabrication des alliages ferreux fondus destinés à l'ouvraison par le marteau ou par le laminoir : — c'est là, sans contredit, que depuis dix ans se sont faits les plus grands progrès. Progrès à tous les points de vue : 1° progrès dans l'outillage; 2° progrès dans le choix et le traitement des matières jusqu'au lingot; 3° progrès dans l'organisation générale du travail, depuis la préparation du lingot jusqu'au finissage du produit marchand.

Nous avons déjà parlé des progrès dans l'outillage aux § I, III et IV : nous nous occuperons ici des deux derniers titres.

La tendance dans la préparation des lingots, soit à la cornue Bessemer, soit sur sole, a été d'obtenir des métaux fondus de plus

(*) Les résultats d'essais faits par l'Artillerie de Marine, à Lorient, donneraient, si nous pouvions y puiser ici, des renseignements tout à fait conformes à ce que nous disons là de cette fabrication délicate.

en plus doux, c'est-à-dire, de moins en moins carburés. Le désidératum, signalé dans les publications qui suivirent l'Exposition de 1867 (*), *la production du fer fondu*, semble aujourd'hui atteinte ou bien près de l'être; mais il importe de faire à cet égard une première distinction essentielle entre les provenances des métaux doux et fondus.

Et d'abord, *dans la cornue Bessemer*, avec telle fonte pure, de la catégorie des fontes anciennement connues sous le nom de fontes aciéreuses, provenant de minerais purs, manganésés, et tenant, en outre du carbone, de 1 à 2 p. 100 de silicium et 3 à 4 p. 100 de manganèse et peu ou point d'autres éléments, l'affinage peut être conduit à peu près à volonté pour métal dur ou doux: dans les deux cas, on n'a besoin que de peu ou point d'addition finale (spiegel ou ferro-manganèse). Au contraire, avec une fonte plus impure, moins manganésée et plus chargée non-seulement de silicium, mais d'éléments divers comme en apportent tant de minerais terreux, l'affinage est difficile; il faut le prolonger au delà de la décarburation : non-seulement il faut faire doux, mais encore user d'additions finales, plus ou moins considérables, d'alliages riches en manganèse. Dans le premier cas, le métal doux obtenu sera, si l'on veut, du *fer fondu naturel* pouvant retenir de 1 1/2 à 2 millièmes de carbone, autant de silicium et à peine 2 ou 3 millièmes de manganèse, c'est-à-dire une somme d'éléments étrangers à peine égale à celle des meilleurs fers doux que donnaient les anciens procédés d'affinage. Dans le second cas, au contraire, pour une même teneur en carbone, le métal fondu retiendra souvent de 5 à 6 millièmes de manganèse, sinon plus, et avec cela au moins 3 à 4 millièmes, parfois plus, de silicium et des traces plus ou moins dosables d'autres éléments : ce sera, en un mot, *un alliage complexe*.

Entre ces deux cas extrêmes, il est aujourd'hui, d'une usine Bessemer à une autre, des nuances nombreuses, correspondant aux mélanges de minerais fort variés qu'on y emploie, mélanges où entrent, avec des minerais purs et riches, des doses plus ou moins élevées de minerais terreux : les fontes provenant exclusivement de minerais terreux communs n'ont été traitées seules qu'assez récemment, nous y reviendrons tout à l'heure.

La fabrication sur sole, qu'elle procède par affinage proprement dit de la fonte seule ou mélangée d'une certaine proportion de fer

(*) Rapports du jury international de 1867. Les procédés métallurgiques, par M. Lan (Tome VIII, pages 100 et suiv.).

neuf ou vieux (formule spéciale de M. Martin), ou qu'elle procède par simple fusion rapide de fonte et fer, ou d'acier de divers duretés comme autrefois en creusets, ne peut se passer d'additions finales manganésées. Celles-ci sont d'autant plus nécessaires qu'on vise un produit plus doux, ou bien encore qu'on emploie des matières premières de moindre choix. C'est dire que les *fers fondus* qu'on obtiendra là seront toujours des alliages tout au moins de *fer et manganèse* et souvent beaucoup plus compliqués : on peut les rapporter également aux deux types extrêmes que nous avons distingués au Bessemer.

Après cela, qu'on se rappelle ce que nous avons dit précédemment des variations de qualité à froid comme à *chaud* que présentent les alliages fondus ; on comprendra qu'il y ait lieu à quelques réserves touchant l'emploi de matières premières *de second* choix. La meilleure mesure des progrès qu'on a pu faire sous ce rapport se trouverait sur les carnets du lamineur ou du marteleur qui élaborent les lingots, plus encore que dans le laboratoire du chimiste. Celui-ci est préoccupé parfois trop exclusivement de tel élément particulier et pas assez des modifications physiques et même chimiques que peuvent occasionner, pendant les chaudes des traces indosables de métaux terreux. Nous pourrions citer bien des exemples de métaux fondus doux tenant les mêmes quantités de carbone, silicium, manganèse et même de phosphore, qui donnaient en rebuts pour criques et pailles, au laminage, le double les uns des autres, mais les premiers provenant de *dosages* primitifs plus chargés de minerais terreux. Plus d'un fait de ce genre nous porte à croire qu'il n'y a pas que le phosphore qui, *dans les* minerais communs, nuise à la qualité des métaux fondus. Le silicium et certains métaux terreux (aluminium, magnésium, calcium et autres) qui, sans être toujours faciles à doser, n'en existent peut-être pas moins dans ces produits comme dans les fontes, en quantités proportionnelles à la teneur même en silicium, tous ces corps peuvent altérer grandement les *métaux fondus*, même les plus doux ; à plus forte raison les aciers durs ou demi-durs.

Quoi qu'il en soit, on peut tenir pour certain que, pendant les six dernières années, on a, tout en faisant les métaux fondus de moins en moins carburés, appris à y introduire une proportion de ces éléments étrangers qui ne compromit pas la fabrication, ni même certains emplois ultérieurs. Le besoin d'une formule simple, autant sinon plus que la réalité des faits, a fait admettre la *dose de* phosphore comme mesure à cet égard : 1 à 2 millièmes et même jusqu'à 3 millièmes de ce métalloïde, voilà des teneurs avec les-

quelles beaucoup d'aciers fondus doux (Bessemer ou sur sole) peuvent se laminer sans trop de rebuts pour rails répondant aux cahiers des charges des compagnies.

Après ce premier pas, on a tout récemment tenté d'en faire un plus grand, en appliquant exclusivement les fontes de certains minerais terreux, comme ceux du Cleveland et de la Moselle, ou bien encore certaines fontes manganésées, mais phosphoreuses, des bords du Rhin. Visant encore ici, dans les deux cas, la teneur en phosphore, MM. Krupp, en Allemagne, et Bell, en Angleterre, ont fait la *déphosphoration préalable* des fontes à l'aide d'oxydes de fer ou de minerais de fer riches et purs, le produit de cette première opération devant ensuite se transformer en acier, ou dans la cornue Bessemer, ou mieux sur la sole d'un four Siemens. Les principes et détails principaux de ces deux procédés ont été exposés dans la 1re livraison (1879) de ce recueil, par M. Gruner; nous ne voulons y revenir que pour appeler l'attention sur quelques points importants.

D'abord, en admettant comme très-certaine la réduction de la teneur en phosphore par l'un et par l'autre de ces procédés, observons que, par les réactions mises en jeu, il se produira une autre amélioration : on éliminera du même coup le silicium et les métaux terreux. De plus, pour peu qu'il y ait départ de carbone, et il sera difficile, en pratique, d'éviter un départ partiel, il se fera par réduction des oxydes de fer purs employés comme réactifs, c'est-à-dire, par introduction dans le métal d'une certaine proportion de fer pur. Enfin, que ce dernier effet se produise ou non, il ne faut pas moins de très-fortes additions d'oxydes de fer ou de minerais riches et purs pour assurer le succès de l'opération. En un mot, le fait d'une double opération, joint à la nécessité d'une consommation importante de matières de qualité, sont deux circonstances de nature à diminuer sensiblement l'économie de ce procédé. Peut-être, dans certaines conditions économiques, serait-il un progrès sur les procédés dont il a été parlé ci-dessus; au lieu de prendre comme eux pour base les *matières de choix* dans lesquelles ils incorporent certaines doses de matières communes, le système à deux opérations prend les *matières communes* qu'il améliore par une consommation plus ou moins élevée de matières de choix. Le résultat économique comparatif dépendra beaucoup des proportions dans lesquelles on consommera les deux sortes.

L'avantage de ces procédés à deux opérations serait peut-être tout autre, si on parvenait à faire la première étape dans un four ou dans une cornue à garnissage basique, sans oxyde de fer, comme

celui dont il a été parlé aux §§ 1 et 4. Un dernier essai, qu'il reste à examiner, pourrait, parmi ses résultats, apporter une nouvelle chance de succès à l'application des idées de MM. [illegible] et Bell.

Pour le moment, l'essai dont s'agit, *l'affinage Bessemer à garniture basique de la cornue* (système Thomas et Gilchrist), vise beaucoup plus haut : il veut obtenir directement de fontes phosphoreuses et terreuses (?) des métaux fondus remplaçant tous les produits jusqu'ici au Bessemer et sur sole, non pas peut-être avec les matières de premier choix, mais avec les mélanges divers ci-dessus indiqués.

A en juger par les premiers renseignements sur *les opérations* récemment pratiquées en grand, deux résultats seraient déjà atteints : bonne tenue du garnissage à base de chaux et magnésie; réduction de la teneur en phosphore de 1 ou 1,50 p. 100 dans les fontes à 0,10 ou 0,15 dans le métal fondu. Nous n'avons *pu*, jusqu'ici, savoir ce que les lingots obtenus ont donné de *bons produits finis* : ce renseignement serait utile à rapprocher des deux premiers résultats fort encourageants que l'on a d'abord signalés.

Nous ne savons pas non plus si, pendant l'opération, on a continué ou développé l'usage des additions dont parle *M. Gruner* (*) : 5 à 10 p. 100 de chaux vive ou d'un mélange d'oxyde de fer riche et de chaux. Des additions de cette nature peuvent, *en effet*, faciliter l'épuration, et d'autant plus qu'elles seront plus pures et plus riches en fer et en manganèse. Avec ces additions, ce *procédé se* rapprocherait, dans une certaine mesure, de ceux de MM. Krupp et Bell.

Nous avons fait personnellement, en 1868 et 1869, usage d'additions de minerais riches purs, manganésés (minerais de Mokta) dans la cornue Bessemer ordinaire, pour le traitement direct de fontes communes, à peine phosphoreuses, mais très-siliceuses, tenant jusqu'à 5 p. 100 de silicium, et provenant de dosages très-chargés de minerais en grains du Berry. Ajoutés à peu près au tiers de l'opération, dans le bain déjà très-chaud, *ces minerais* pouvaient s'introduire dans la proportion de 12 à 15 et même 20 p. 100, sans gêner aucunement le travail; ils se *réduisaient*, pour la majeure partie, laissant leur fer pur dans le bain, une autre partie, mais très-faible, de leur oxyde de fer et tout leur *oxyde de* manganèse saturant la silice et les oxydes terreux provenant de l'affinage et peut-être de la garniture en sable de la cornue; cepen-

(*) 1re livraison 1879, p. 151.

dant celle-ci s'altérait très-peu. Les seuls résultats constatés par une expérience de plusieurs mois furent une légère réduction dans la durée de l'opération et une amélioration de qualité proportionnelle à la quantité de fer pur laissé par les additions dans le bain. Pour tirer un parti à peu près satisfaisant du métal au laminoir, il fallait pousser l'affinage très-loin à la cornue et user de fortes additions finales manganésées. Le coût de ces fortes additions finales ou initiales et les dépenses d'entretien des fonds d'appareils, joints aux rebuts du laminage, faisaient revenir les produits finis plus cher qu'avec des fontes provenant de minerais de qualité.

Les résultats des additions de minerais riches, avec ou sans chaux, peuvent être très-différents avec le garnissage basique de la cornue. Ce garnissage constituerait donc, à lui seul, un grand progrès, quelle que fût la formule à adopter ensuite pour assurer l'épuration du métal. Il est clair que si, par elle-même, la paroi basique suffit à cet effet, il peut sortir des essais en cours un procédé réalisant, sur ceux d'aujourd'hui, une économie correspondant à la presque totalité de la différence de prix entre les fontes communes et les fontes Bessemer employées jusqu'ici. Au contraire, l'économie peut être très-sensiblement réduite s'il faut recourir à des additions diverses, etc., pour obtenir un alliage final un peu juste à l'emploi.

Quant aux progrès économiques dans l'ensemble de la fabrication, dont il nous reste à parler en quelques mots, il s'agit bien d'économies réelles et sur lesquelles il n'y a plus à faire les réserves que nous indiquions tout à l'heure à propos du choix des matières premières.

Au *Bessemer*, la production par batterie de deux cornues s'est élevée rapidement depuis 1867. Dans les usines surtout qui opèrent en 2e fusion, on a pu, à mesure que le personnel est devenu plus habile à manier cet outillage, et qu'on a su mieux préparer et réparer les fonds d'appareils, on a pu faire un nombre de 18, 20 et même plus d'opérations par 24 heures. En tenant compte des périodes de chargement et de manutentions accessoires, on réalise ainsi un travail à peu près continu, condition première de l'économie dans le fonctionnement des chaudières et des souffleries qu'à l'origine on utilisait fort imparfaitement.

La production est moins facile à accroître et surtout à régler dans les ateliers marchant en première fusion, c'est-à-dire avec la fonte directement coulée des hauts-fourneaux, la marche de ceux-c

commandant celle des cornues Bessemer. Aussi, on comp[illegible] les avantages de ce mode de travail aient été mis en ques[illegible] tamment dans quelques-unes des réunions de l'Iron and Ste[illegible] tute). Il n'est pas, en effet, très-sûr qu'à bien compter, [illegible] Bessemer, muni d'un de ces cubilots à fonds mobile et à [illegible] latéral, largement soufflé, comme on en a en Allema[illegible] États-Unis, en Angleterre, on n'arrive pas en deuxième [illegible] faire le lingot aussi économiquement qu'avec la coulée d[illegible] haut-fourneau. En tous cas, avec ce dernier mode, il est [illegible] sable, pour parer à tous accidents et même aux écarts de [illegible] tion, de disposer d'un ou deux cubilots à côté des corn[illegible] combinaison mixte donne à l'atelier Bessemer une grande [illegible] et permet de porter la production à son maximum de c[illegible]

Dans la *fabrication sur sole*, nous avons montré au § 5, [illegible] les fours ont été agrandis depuis 1867, et par *quels* soins [illegible] struction on est parvenu à assurer la continuité de le[illegible] ment. De là est déjà résulté un accroissement *de produ[illegible]* four, c'est-à-dire, souvent pour la même consommation [illegible] bustible et de main-d'œuvre. Mais, il y a plus : le *mode d[illegible]* lui-même a été très-sensiblement modifié dans le même sens.

Non-seulement on a renoncé partout aux formules asse[illegible] quées de l'affinage des fontes sur sole Siemens; mais on a [illegible] donné aussi les chargements par petites parties avec cha[illegible] préalable : on a même négligé complétement ce chauffage e[illegible] ques usines font les charges considérables des nouveaux fours [illegible] une seule fois. En un mot, cette fabrication est de plus en [illegible] devenue une véritable fusion sur sole, qui rappelle les fusions [illegible] réverbère pour fonte, pour cuivre, etc.

Dans l'*ouvraison* (au marteau ou au laminoir), les gros ou[illegible] dont nous avons parlé au § 4, ont permis de passer *des lingots* [illegible] plus en plus forts. Ces accroissements d'équarrissage des [illegible] indispensables dans le cas de produits finis de gran*des dimen[illegible]* sont devenus courants dans les fabrications de produits plus [illegible] naires, comme les rails. Peu à peu, on a pu faire ainsi des [illegible] double et triple longueur, avec réduction des rognures et déch[illegible] avec économie dans les frais de façon.

A mesure qu'on a mis en œuvre des lingots de plus fortes [illegible] tions, le réchauffage a été l'objet de préoccupations plus sérieuses [illegible] les fours (systèmes Siemens, Ponsard, Bicheroux, etc.), de dimen[illegible] sions agrandies, recevant jusqu'à 25 et 30 lingots de 600 à 900 kil[illegible] chacun, ont dû suivre les accroissements de production des trains [illegible] Enfin, on a repris une idée venue à l'esprit de beaucoup d'ingé[illegible]

nieurs dès l'origine des procédés nouveaux, celle du travail des *lingots chauds* à la sortie des lingotières du Bessemer ou de la fabrication sur sole. Ce mode de travail est aujourd'hui courant dans plus d'une forge qui, en quelques heures, parvient ainsi à transformer la fonte en rails finis.

Beaucoup des points que nous venons d'indiquer rapidement à propos des rails, ont trouvé leur application dans d'autres fabrications que le cadre de cette Revue ne nous permet pas d'examiner. Nous croyons en avoir dit assez pour montrer quels efforts ont été faits dans cette dernière étape de la fabrication pour réduire les prix de revient de ces produits nouveaux. Malheureusement pour les fabricants, les réductions des prix de vente depuis quelque temps ont été plus rapides souvent que celles des prix de revient!

§ VII. — Quelques observations sur la métallurgie des métaux autres que le fer.

Les métaux autres que le fer étaient, quelques-uns du moins, brillamment représentés à l'Exposition de 1878. Le cuivre et ses nombreux alliages étaient au premier rang après le fer : bien que nous ne produisions pas le métal lui-même, ou du moins que nos usines se bornent à fondre et raffiner les cuivres bruts étrangers, quelques variétés de cuivre natif, etc., les galeries françaises se faisaient remarquer à cette Exposition plus encore qu'aux précédentes, par la variété de leurs produits ouvrés. Les fabricants français en cuivre rouge, en laiton, en bronze, ont montré une fois de plus ce que peut notre pays dans le travail des métaux : il y a là quelque chose de semblable à ce que nous avons signalé au § VI à propos de l'ouvraison des fers.

Avec moins d'importance, nos quelques usines à plomb et à zinc, nos ateliers de désargentation des plombs d'œuvre, figuraient aussi au Champ de Mars, et ils méritent cette mention spéciale, car, quelque peu considérable que soit cette industrie chez nous, elle a, depuis une quinzaine d'années, largement contribué aux progrès de cette branche de la métallurgie.

Enfin, une nouveauté dont l'apparition est due à notre pays encore, c'est le traitement des minerais oxydés ou silicatés de nickel, récemment découverts dans la Nouvelle-Calédonie : traitement analogue à celui des minerais de fer (brevets Garnier), mais dont les résultats n'ont pas encore été suffisamment établis.

En signalant d'abord la part de la France dans ces diverses sec-

tions de l'Exposition métallurgique, nous ne voulons pas amoindrir le mérite des pays étrangers, depuis longtemps en possession de ces industries spéciales (l'Angleterre, la Suède, la Russie, etc.); mais ici, comme nous l'avons observé pour les fontes, les aciers, il se fait des déplacements d'industrie dignes d'attention : les États-Unis, par exemple, ont développé rapidement ces usines comme ils ont fait des forges et aciéries.

A ces généralités ajoutons quelques exemples de l'influence qu'ont exercée les progrès de la sidérurgie sur les autres branches de la métallurgie.

§§ I. Et d'abord, rappelons que les progrès *dans la production des hautes températures* se sont immédiatement introduits dans les usines *à cuivre*, *à zinc*, etc. Les fours à gaz (Siemens et autres) s'appliquent aujourd'hui : à la fusion du cuivre et de ses alliages, comme à celle de l'acier; à la réduction des minerais de zinc, et aux divers réchauffages des ateliers d'ouvraison.

§§ II. Dans *la construction des fourneaux*, ce que nous avons dit des appareils sidérurgiques s'observe aussi dans les usines qui nous occupent. Pour n'en citer qu'un ou deux exemples, mentionnons :

1° Les *réverbères* construits récemment dans certaines usines d'Allemagne (Tarnowitz), pour le traitement par rôtissage des minerais de plomb riches et doux. Ces fourneaux, au lieu de charger, comme les anciens réverbères anglais dont ils ont copié le tracé, une tonne de minerais, en reçoivent jusqu'à 3 et 4 tonnes par opération : à cet effet, tout en conservant les profils des réverbères anglais, ils ont été agrandis et construits plus solidement.

2° Les *fours à cuve*, autrefois à gueulard ouvert, construits en épais massifs de maçonnerie, se font aujourd'hui à gueulard fermé, avec prise de gaz, sur colonnes, et souvent à parois métalliques dans le voisinage des tuyères, avec aspersion d'eau, toutes dispositions empruntées aux hauts-fourneaux à fer. Ces fours à cuve ont d'ailleurs été notablement agrandis (modèles Raschette, Pilz, etc.), et soufflés à volumes de vent proportionnés à leurs capacités intérieures. De ces diverses modifications sont résultés : 1° accroissement de production journalière; 2° réduction des consommations de combustibles et de main-d'œuvre; 3° réduction des frais d'entretien des appareils; 4° moins de pertes par fumées, dans le cas du traitement des minerais de plomb, par exemple.

§§ III. Dans *l'outillage* ou *dans le matériel des usines*, on retrouve la plupart des progrès mécaniques signalés au § IV : très-particu-

lièrement dans les ateliers de laminage et étirage des feuilles, barres, tubes, fils, etc., de cuivre, laiton, plomb, etc. Mais ce qui est peut-être encore plus digne d'attention, c'est le nombre déjà grand des tentatives faites pour exécuter à la mécanique, ici comme dans le travail du puddlage et du Bessemer, les opérations métallurgiques elles-mêmes.

C'est dans la désargentation par le procédé du patinsonnage que l'on a le mieux réussi sous ce rapport. Au brassage du bain à bras d'homme, on a tenté d'abord, en Angleterre, puis en France (Laveissière), de substituer le brassage par outils mus mécaniquement dans l'intérieur du bain (premier type analogue au système de Lemut pour le puddlage). Cette première solution n'était pas sans inconvénients par la complication du mécanisme et les difficultés de son entretien. On lui a substitué, depuis quelques années, le brassage à la vapeur d'eau (système Luce et Rozan), décrit par l'un des inventeurs dans les *Annales* (1873, tome III, p. 160). Cette dernière solution, qui rappelle le Bessemer à certains égards, à mis quelques années à se faire admettre : on lui reprochait le défaut de donner des fumées et poussières gênantes pour le personnel ; mais elle est aujourd'hui pratiquée dans la plupart des usines de patinsonnage (Angleterre, France, Espagne, etc.). Il n'est que juste de rappeler à cette occasion que le procédé Cordurié (variante de la désargentation par le zinc) (*), a pu donner l'idée du patinsonnage à la vapeur d'eau, par l'emploi qu'il faisait de cet agent dans la purification du plomb souillé de zinc, à certain moment de ce procédé.

Une application directe de l'affinage Bessemer a été tentée tout récemment par M. John Hollway, en Angleterre, pour le traitement des pyrites de fer cuivreuses et leur transformation en mattes. Les premiers renseignements parvenus sur cet essai ont été réunis par M. Pourcel dans une note très-intéressante, insérée aux *Conptes rendus de la Société de l'industrie minérale* (avril 1879). M. Pourcel cite en même temps les essais tout semblables faits en Italie, presqu'à la même date, par M. B. Arnaud, ingénieur français, sur des pyrites cuivreuses et nickelifères. Il est encore difficile d'apprécier les chances de succès de ce nouveau procédé, surtout dans la cornue Bessemer, telle qu'elle est appliquée à l'affinage de la fonte : en tous cas, il nous semble évident, comme le dit M. Pourcel à la fin de sa note, que le garnissage basique serait ici indis-

(*) *Annales des mines*, 6e série, tome XVI.

pensable, à cause de la masse d'oxyde de fer que le procédé
produire.

§§ IV. On retrouve enfin les analogues de certains faits si
giques jusque *dans les opérations chimiques* par lesquels
préparent quelques-uns de ces métaux et alliages métalliques.

1° Le rôle de réducteur que le manganèse joue, dans les
tions finales du Bessemer et de la fusion sur sole, a été utilisé
un fabricant français, M. Manès. A la fin du raffinage du c
pour détruire l'oxydule qui persiste dans le métal, on se sert
ralement du charbon de bois; dans beaucoup d'usines, les
neurs ajoutaient aussi un peu de plomb, plus oxydable
cuivre et dont l'oxyde est très facile à scorifier. M. Manès
un alliage de cuivre et manganèse, au moment de la coulée
cuivre affiné: il pratique la même addition, au moment de
coulée de ses bronzes et laitons.

2° On doit obtenir ainsi des alliages plus ou *moins* comp
dont les propriétés auraient besoin d'être examinées de près
permettre une appréciation sérieuse de leur valeur. *On p*
d'ailleurs, depuis quelques temps déjà, et en France et en A
terre, des bronzes manganésés qui semblent surtout *convenir*
les moulages, bien que, selon certains fabricants, ils jouissent
fois d'une grande ténacité et d'une grande ductilité.

3° Le bronze phosphoreux, variété d'alliage cuivreux con
déjà depuis longtemps (25 à 30 ans), a pris une certaine place
la consommation des moulages et même dans les produits la
nés, martelés ou étirés. Il paraît s'obtenir par des procédés
variés où *le phosphure de cuivre* serait l'addition finale des
d'alliages ordinaires.

Les expériences diverses qui ont été faites, en *Angleterre* et e
France, sur les propriétés mécaniques de ces nombreux pr
duits (*), accusent des résultats souvent favorables, *mais parfois*
aussi assez variables, et qui semblent montrer qu'ici, comme pour
les aciers, il n'est pas facile au consommateur de *s'assurer* de
qualités du produit qu'on lui livre.

(*) Voir l'ouvrage de M. Lebasteur déjà cité.

NOTE

SUR

L'ACCIDENT DE FRAMERIES (BELGIQUE)

Par MM. MALLARD, ingénieur en chef, et VICAIRE, ingénieur des mines.

La Commission du grisou nous avait fait l'honneur de nous confier la mission de recueillir des renseignements sur le terrible et singulier accident survenu le 17 avril dernier dans les mines de l'Agrappe, à Frameries.

En arrivant à Mons le 15 mai, nous eûmes le regret d'apprendre que l'épuisement des eaux de la mine, rendu difficile par la destruction de toutes les installations de puits, n'était pas terminé, et qu'il n'était pas encore possible de pénétrer au niveau de 610 mètres, où s'est produit le terrible dégagement de gaz, cause de l'accident. Les ingénieurs de l'État attendaient, pour faire leurs rapports, que ce niveau fût accessible.

Dans ces circonstances, nous avons dû nous contenter de nous enquérir, auprès des ingénieurs, des principales circonstances de l'accident. Qu'il nous soit permis d'adresser ici tous nos remerciements aux ingénieurs belges, qui nous ont reçus avec une extrême courtoisie, et principalement à l'éminent ingénieur en chef de la province du Hainaut, M. Laguesse, qui n'a pas craint de s'arracher aux multiples occupations de l'important service dont il est chargé, pour nous accompagner lui-même à Frameries.

Nous n'avons pas cru devoir insister sur les péripéties du sauvetage, qui fait le plus grand honneur à tous. Le rapport détaillé des ingénieurs nous renseignera amplement sur ce point et fera à chacun la juste part qui lui est due.

Les travaux souterrains du charbonnage de l'Agrappe

communiquent avec le jour par trois puits, dont les deux plus éloignés sont à 10 mètres l'un de l'autre et dont les orifices sont situés dans l'intérieur du bâtiment qui abrite, ou plutôt qui abritait, toutes les installations de la surface.

De ces trois puits, l'un, qui a 12 mètres carrés de section ($3^m,80$ de diamètre), sert de puits d'extraction et de puits d'entrée d'air ; il a une profondeur de 620 mètres ; dans un autre sont installées les échelles ; le troisième, qui ne descend qu'au niveau de 465 mètres, contient la colonne des pompes ; il communique au jour avec un orifice spécial sur lequel est établi un ventilateur aspirant. L'air entre par le puits d'extraction et sort par le ventilateur ; le puits des échelles, dont l'orifice est bouché, communique avec une galerie latérale de quelques mètres, qui débouche au jour par une trappe habituellement fermée.

On exploitait les couches suivantes : 1° au niveau de 600 mètres, la grande veine Lévêque et la veine de l'Épuisoire, que l'on venait à peine de rencontrer au moment de l'accident et sur laquelle les travaux étaient extrêmement restreints ; 2° aux niveaux de 520 et 550 mètres, la veine dite Grande-Séreuse et la veine dite Cinq-Paulmes.

Le jeudi 17 avril, à 7^h 37^m du matin, les ouvriers qui étaient à l'orifice du puits d'extraction en virent sortir un courant d'air très-violent, entraînant avec lui de la poussière et de petits fragments de charbon. Un ouvrier se détacha immédiatement pour aller prévenir l'ingénieur. Quelques secondes après, le gaz qui se dégageait ainsi par le puits, après s'être répandu dans l'atmosphère, venait prendre feu au foyer allumé dans la chambre de la machine et, croit-on aussi, au foyer allumé près de la chambre de cliquage : ce dernier était plus rapproché que l'autre de l'orifice du puits, mais masqué par un mur. Immédiatement la flamme s'étendait dans tout l'intérieur du bâtiment et même dans la cour, où des personnes furent atteintes par le feu. Une gigantesque colonne de

feu s'élevait de la bouche du puits, dépassant le sommet de la cheminée, qui a 50 mètres de hauteur. Elle se voyait de la gare de Mons, qui est distante de 7 à 8 kilomètres.

En un moment le désastre produit à la surface avait été considérable. Le mécanicien et les ouvriers qui étaient au jour avaient été brûlés, et le feu s'était communiqué à toutes les charpentes du bâtiment.

Lorsque les secours arrivèrent, le premier soin des ingénieurs fut de faire arrêter le ventilateur, de manière à ne pas troubler le courant d'air qui, par suite de l'énorme dégagement produit dans le puits d'extraction, s'était interverti. On s'occupa ensuite avec toute l'activité possible de se rendre maître de l'incendie, qui s'opposait absolument à ce qu'on pût pénétrer dans la mine, puisqu'il en recouvrait d'une façon complète tous les orifices et que, notamment, la trappe du puits des échelles était en feu.

Cependant le gigantesque bec de gaz allumé au-dessus du puits continuait à brûler, mais la hauteur en décroissait graduellement. A $9^h\ 45^m$, $2^h\ 12^m$ après le commencement du dégagement, on voyait la flamme, réduite à 2 mètres seulement de hauteur, osciller à l'orifice, et une explosion se produisait dans l'intérieur du puits. Après l'explosion, tout paraissait devenu à peu près tranquille; le puits n'était plus surmonté que par quelques flammes, que M. l'ingénieur en chef Laguesse attribue aux cadres du puits qui étaient en feu, lorsqu'une nouvelle explosion se produisit dans le puits à $10^h\ 10^m$. Puis des explosions, séparées par des périodes de calme apparent, eurent lieu successivement à $10^h\ 20^m$, $10^h\ 29^m$, $10^h\ 38^m$, $10^h\ 49^m$, soit 5 explosions espacées l'une de l'autre presque rigoureusement de 10 minutes. Ces explosions avaient pris fin depuis près d'une heure, lorsque à $11^h\ 36^m$ s'en produisit une qui fut la dernière, mais qui parut beaucoup plus violente que toutes les autres. M. Laguesse suppose, d'après les témoignages des ouvriers survivants, que toutes les explosions, sauf la der-

nière, ne se produisirent que dans la colonne du puits. La dernière explosion seule se serait produite dans l'intérieur de la mine, et c'est à elle que, d'après M. l'ingénieur en chef de la province du Hainaut, il faudrait attribuer le bouleversement des travaux et la mort des victimes du fond.

Il suit clairement de cet exposé que l'accident du 17 juin 1879 a été produit par l'irruption soudaine dans le puits d'extraction d'une quantité énorme de grisou, se dégageant avec une grande vitesse.

En un clin d'œil le puits a été transformé en un vaste tuyau rempli de grisou à peu près pur ; c'est au jour seulement que ce gaz a trouvé, et la quantité d'air nécessaire pour le rendre combustible, et la flamme nécessaire pour l'allumer. Tant que le dégagement du gaz a été assez violent pour que la quantité d'air affluant par les autres puits fût peu considérable relativement au grisou, toute communication de la flamme de l'intérieur à l'extérieur a été impossible. Cet état de choses s'est prolongé pendant 2h 15m.

Combien n'est-il pas regrettable que les orifices de la mine se soient trouvés tous déboucher au jour dans l'intérieur des bâtiments enflammés ! Sans cette circonstance, tous les ouvriers, qui, lorsqu'ils avaient constaté l'état singulièrement anormal de la mine, s'étaient dirigés vers le puits des échelles, auraient été sauvés. Mais aveuglés par la fumée qui entrait par le puits et dont ils ne s'expliquaient pas la cause, ils rebroussèrent chemin ; une partie resta dans le voisinage du puits des échelles et put être sauvée ; mais une partie se dirigea vers le puits d'extraction, et fut brûlée et ensevelie au moment de la dernière explosion.

Les ingénieurs ont cherché à se rendre compte de la quantité de grisou qui s'est échappée en 2h 1/4 du puits de l'Agrappe. Ils ont cru pouvoir estimer à 4 mètres au minimum la vitesse moyenne avec laquelle le gaz est sorti pendant ce temps ; cela donne, avec la section du puits, qui est de 12 mèt. carrés, un volume de gaz égal à 345.600 mèt.

cubes. Si l'on admet que pendant les 2 autres heures qu'ont duré les explosions successives il s'est dégagé le 1/3 de ce qui était antérieurement sorti, on arrive à un total de 500.000 mètres cubes, qui ne paraît point exagéré.

Les témoignages des ouvriers qui étaient aux niveaux de 550 et de 520 mètres ne laissent pas douter que ce dégagement ne se soit produit au niveau de 610 mètres, dans la veine de l'Épuisoire.

On ne saurait espérer d'avoir quelques éclaircissements sur la naissance d'un phénomène aussi inouï, avant d'avoir pénétré au point même où le dégagement s'est produit. En attendant ce moment, qui ne saurait tarder beaucoup, on ne peut qu'essayer de chercher quelque lumière dans les faits qui ont précédé l'accident.

Le charbonnage de l'Agrappe était particulièrement grisouteux, et il en est malheureusement de même des charbonnages voisins, tel que celui de Crachet-Picquery. C'est ainsi que non-seulement la présence du grisou est constante dans les travaux, mais qu'encore on est souvent obligé, lorsqu'on rencontre une nouvelle couche, ou lorsqu'on aborde certaines parties de couche, d'abandonner les travaux pendant plusieurs jours, parce que, le grisou étant en quantité trop grande, la lampe Mueseler s'éteint et tout travail devient impossible. On laisse ainsi la couche se *saigner*, suivant l'expression des mineurs du Hainaut. Il est même de règle d'aider autant que possible à ce drainage préalable du grisou, en faisant précéder chaque grande taille montante d'un ou de plusieurs trous de sonde de 6 à 7 mètres de profondeur. M. Laguesse fils, directeur des travaux de Crachet-Picquery, a constaté, en bouchant l'orifice d'un de ces sondages et y plaçant un manomètre, que la pression développée par le grisou pouvait aller jusqu'à 16 atmosphères. Elle est ordinairement de 2 à 3 atmosphères.

Dans ces conditions particulièrement dangereuses, et qu'on ne connaît guère chez nous, on se sert cependant de

la poudre. C'est à un coup de mine que M. Laguesse attribue un accident arrivé à l'Agrappe en 1875. Peu de temps avant l'accident du 17 avril dernier, et au niveau même de 610 mètres où s'est produite l'irruption du gaz, un coup de mine fut tiré pour le percement du bouveau qui allait à la rencontre de la veine de l'Épuisoire. Le coup, il est vrai, avait été tiré le dimanche, par précaution ; il y eut inflammation du gaz, mais les précautions prises furent suffisantes pour conjurer toute autre conséquence fâcheuse. On abandonna l'avancement du bouveau pendant 8 à 10 jours pour laisser le grisou se dégager. Le travail, repris au bout de ce temps, ne tarda pas à faire rencontrer la veine de l'Épuisoire. Cette veine présentait une épaisseur totale de $1^m,24$ de charbon, coupée par un nerf schisteux de $0^m,10$ placé à $0^m,90$ du toit. Un autre nerf schisteux de $0^m,50$ se trouvait au mur. L'inclinaison de la couche était de 13°.

Dès qu'on fut dans la couche, on y ouvrit une taille montante de 10 mètres de large. Comme on n'était pas encore en communication avec le niveau supérieur, la taille, qui avait un développement d'une quinzaine de mètres suivant l'inclinaison, était aérée par des canards. Des trous de sonde de 6 mètres environ de profondeur précédaient la taille. Suivant l'ingénieur de la mine, ces trous de sonde ne donnaient que peu de gaz.

La mine de l'Agrappe a déjà été depuis quelques années le théâtre de plusieurs accidents causés par le grisou. Il est intéressant de voir dans quelles circonstances.

En 1875, un grand accident bouleversa complétement les travaux et fit 112 victimes. Cet accident a été produit par la présence du grisou en grande quantité dans l'intérieur des travaux, et par l'inflammation fortuite de ce gaz dans la mine. La cause de cette inflammation n'a jamais été bien connue. M. Laguesse pense qu'elle doit être cherchée dans le tirage d'un coup de mine, cependant interdit. Quoi

qu'il en soit, la nature et les causes de cet accident ne diffèrent pas de ce qu'on connaît ailleurs. Il n'y a donc pas à insister sur l'accident de 1875.

Un autre accident, qui a été beaucoup moins grave, mais qui est bien plus intéressant pour le sujet qui nous occupe, est celui du 29 juillet 1874. Il s'est produit dans la veine Lévêque, au niveau de 580 mètres. On venait de rencontrer cette veine, et on avait constaté qu'elle présentait un bouleversement et un renflement extraordinaire de près de 4 mètres, lorsqu'il se produisit, au front de taille, un dégagement de gaz tellement violent qu'il projeta sur les ouvriers 1.500 hectolitres environ de charbon extrêmement fin, de la nature de celui qu'on appelle *fusain* chez nous et auquel les ingénieurs belges donnent le nom de charbon *daloïde*. Deux ouvriers furent ensevelis par le charbon; les trois autres du front de taille furent asphyxiés; ils moururent tous les cinq. Le grisou alla prendre feu dans le puits, à l'étage de 550 mètres, peut-être à une lampe ouverte pour le rallumage des lampes des mineurs. Un porion et 9 ouvriers furent brûlés à l'étage de 520 mètres.

On a donc rencontré là, mais sur une échelle infiniment plus restreinte, un dégagement subit analogue à celui du 17 avril. Le renflement de la couche qui avait précédé le dégagement était produit par un accident géologique qu'on avait déjà rencontré au niveau de 520 mètres dans la veine de la Grande-Séreuse. On serait donc porté à chercher dans ce même dérangement des couches l'origine du dégagement bien autrement intense du 17 avril.

Mais d'après l'allure de cet accident, son inclinaison et la distance à laquelle il avait été recoupé aux niveaux supérieurs, il paraît probable qu'à moins d'une déviation considérable, le prolongement en avait dû être rencontré dans le bouveau de 610 mètres, bien avant d'atteindre la veine de l'Épuisoire, ainsi que les ingénieurs, du reste, croient l'avoir constaté.

En résumé, l'accident du 17 avril montre que l'on peut voir surgir dans l'intérieur des travaux des dégagements de gaz vraiment gigantesques, et les mines de l'Agrappe ainsi que celles du voisinage, devront se préoccuper dorénavant de cette redoutable éventualité contre laquelle sont impuissantes les précautions actuellement employées.

Quant à la question si intéressante, au point de vue géogénique, de la façon dont ces immenses réservoirs ou ces sources de gaz peuvent être constitués, on ne pourra l'aborder que lorsqu'il sera permis de rentrer dans les travaux de Frameries, au niveau de 610 mètres.

Au reste, ces dégagements instantanés de gaz sont connus depuis longtemps dans les houillères belges, et ils ont été l'objet d'un mémoire fort intéressant, publié en 1875, par M. l'inspecteur général de Vaux, dans le tome 9 de la Revue *universelle des mines*.

Ce travail avait été motivé par un accident survenu le 3 janvier 1865 au charbonnage du *Midi de Dour*, province du Hainaut. Il est curieux de voir en quels termes le savant inspecteur général parle de cet accident.

« Si le dégagement (instantané) a lieu très près du puits d'entrée de l'air, tout le gaz se divisera en deux parties : l'une, proportionnée à la puissance de l'appel, parcourra toutes les voies occupées par les travailleurs, exposant ceux-ci à tous les dangers que l'on cherche à conjurer par la ventilation ; le surplus, et le volume peut en être beaucoup plus considérable, viendra se loger dans le puits d'extraction, s'y élèvera régulièrement jusqu'à la surface, retardera par sa légèreté relative, arrêtera ou renversera même la marche du courant, si le puits est profond, et provoquera les sinistres les plus déplorables, s'il rencontre au jour ou dans le trajet du puits un foyer, une lumière où il puisse s'allumer. Alors commencera un immense incendie appelant à la fois le gaz du puits et l'air ambiant ; bientôt celui-ci dominant dans le mélange, une bruyante détonation éteindra tout, sauf la fatale *mèche de gaz*, qui continuera à brûler à l'orifice du puits jusqu'à ce que, l'émission gazeuse venant à se ralentir et l'air remontant de la mine s'y mêlant en forte proportion, une seconde explosion écla-

ra dans le puits même, et achèvera l'œuvre de destruction en se opageant en retour dans les travaux les plus voisins.

Je fais ici l'histoire du coup de feu qui a sévi, le 3 janvier 1865, charbonnage du *Midi de Dour*. »

M. de Vaux faisait aussi, par avance, l'histoire du coup e feu qui a sévi, le 17 avril 1879, au charbonnage de Agrappe.

« C'est à une profondeur de 468 mètres, dit encore M. de Vaux, l'extrémité d'un simple chassage à l'est, dans le dressant de la ouche *Six-Paulmes* et à 45 mètres seulement du puits d'extraction, que le gaz a fait irruption avec une violence telle que les deux ouvriers occupés à l'avancement ont été renversés et entraînés vers le puits, au milieu d'un torrent de poussière qui a envahi les excavations du voisinage et s'est rapidement élevé jusqu'à la surface en remontant le puits d'extraction ; cette poussière fut suivie de près par une masse considérable de houille broyée et comme tamisée, qui vint encombrer le chassage sur une longueur de près de 30 mètres. Le mesurage de cette masse pulvérulente en a porté le volume à 1.748 hectolitres. Quant à la cavité ou poche qui s'est ainsi vidée et agrandie, elle affectait une forme irrégulière. Il a été reconnu que ladite poche prenait naissance dans le dressant, pour se prolonger irrégulièrement dans la plateur de tête, et particulièrement suivant le crochon de la couche *Six-Paulmes*. La capacité de cette excavation n'a pu être directement mesurée, vu son extrême irrégularité et l'impossibilité d'y pénétrer sans de grands dangers ; nous pensons toutefois qu'il n'y a rien d'exagéré à l'estimer à plus de 100 mètres cubes. »

A l'occasion de l'accident du *Midi de Dour*, M. de Vaux fit faire un relevé des accidents observés en Belgique et ayant eu pour cause un dégagement subit de grisou. Onze accidents semblables furent signalés ; dix avaient eu lieu dans le Hainaut, un seul dans le charbonnage de l'Espérance, à Seraing (province de Liége). Sur les onze accidents, neuf avaient eu lieu à des profondeurs variant entre 368 et 470 mètres ; deux seulement à 291 et 308 mètres.

Les circonstances qui accompagnent tous ces accidents sont très-semblables. L'irruption soudaine du gaz est or-

dinairement annoncée par un bruit sourd, ou par un ca de tonnerre, et accompagnée par l'éboulement du fron taille et la projection dans les galeries d'une quantité co sidérable de charbon à un état extrêmement divisé. L sondages qui précèdent le front de taille et ont pour b de saigner les couches, ne donnent en général que peu d gaz dans les jours qui précèdent l'accident.

Sauf pour deux cas, l'irruption subite du grisou s'e produite en des points où les couches ont été violemm déformées postérieurement à leur dépôt, et presque to jours dans les dressants, sur le crochon qu'ils form avec la plateur de tête.

Dans quelques cas on trouve, après l'accident, à l'e droit où s'est fait le dégagement, une cavité plus ou moin considérable.

Le phénomène qui vient d'ajouter un si lugubre chapit à l'histoire des mines de houille du Hainaut donne lieu des considérations multiples. Les unes se rattachent au théories géogéniques et ont en vue la cause même du phé nomène; les autres, d'un ordre plus pratique, ont pour objet les moyens de conjurer à l'avenir, autant que pos sible, le retour de catastrophes semblables à celles d 17 avril dernier.

Il n'est point aisé de comprendre l'accumulation, en u point de terrain houiller, d'une quantité de gaz assez consi dérable pour alimenter pendant plusieurs heures un déga gement aussi gigantesque que celui que l'on a observé au puits de l'Agrappe : 500.000 mètres cubes de gaz, même fortement comprimés, tiennent encore beaucoup de place, et il ne semble pas tout d'abord que, dans les accidents antérieurs, on ait trouvé, en rentrant dans les travaux, des cavités en rapport avec la quantité de gaz dégagé et avec la quantité de houille menue projetée dans les galeries. Cependant il faut remarquer que les cavités dans lesquelles le gaz est accumulé peuvent avoir une grande étendue,

et par conséquent un volume considérable, tout en ayant de faibles dimensions transversales. En se reportant à l'importante observation faite par M. de Vaux, que c'est surtout sur le crochon que se produisent les dégagements subits, on peut conjecturer que le réservoir dans lequel le gaz est comprimé peut former une sorte de canal ayant une grande étendue tout le long du crochon. La compression à laquelle le gaz est soumis dans ces réservoirs expliquerait la rapidité avec laquelle il se dégage, la détonation qui annonce ce dégagement et la projection de charbon qui l'accompagne..

Quant à l'origine du gaz, il est très-vraisemblable qu'elle est la même que celle du grisou que l'on trouve imprégnant la houille elle-même dans toute sa masse. On peut la chercher, soit dans la décomposition des matières végétales enfouies, si l'on considère la houille comme un produit d'origine exclusivement organique, soit dans le dégagement, de l'intérieur de la terre, de gaz carburés, si l'on considère la houille comme un produit dû à la fois et à l'accumulation de végétaux, et à l'arrivée au jour de produits carbonés analogues à ceux que rejettent les volcans, et qui forment en Amérique les sources de pétrole. Il semble cependant que l'accumulation de quantités de grisou aussi considérables, sur un point donné, s'accorde mieux avec la seconde hypothèse qu'avec la première.

M. Arnould, actuellement ingénieur principal à Mons, a émis en 1865 l'idée que le grisou qui se dégage subitement existe dans le terrain houiller à l'état liquide. Avec cette hypothèse, on n'aurait pas besoin de recourir à des cavités aussi gigantesques pour y accumuler le gaz qui se dégage dans un temps très-court ; on expliquerait en même temps très-aisément l'inefficacité du sondage pour découvrir ces réservoirs, quoique d'ailleurs, même en supposant le grisou à l'état gazeux, des réservoirs très-irréguliers, et dont le volume principal peut se trouver fort loin du front

de taille, doivent être difficiles à déceler par un sond[illegible]

Il semble que l'hypothèse émise par M. Arnould [illegible] contre une difficulté dans la grande quantité de cha[illegible] qu'il serait nécessaire de fournir au grisou liquide pou[r] gazéifier presque instantanément, du moins s'il est com[pa]rable, au point de vue thermique, au plus grand nom[bre] de nos liquides. Mais M. Arnould doit développer son [hy]pothèse et la justifier dans un mémoire spécial. Il faut a[t]tendre la publication de ce travail (et il faut espérer qu'e[lle] sera prochaine) pour discuter la conjecture du sa[vant] ingénieur belge.

Quoi qu'il en soit, il est à remarquer que, dans tous l[es] accidents de ce genre, le dégagement du grisou *est con*-*stamment* accompagné de la projection d'une masse con[si]dérable de charbon menu et dans un état de *division to[ut]* particulier. Une explication complète du phénomène n[e] saurait laisser en dehors une circonstance aussi *constan[te]* et aussi singulière.

Si maintenant, laissant de côté la théorie du *phénomène*, nous cherchons à tirer des faits précédents, quelques con-clusions pratiques, nous sommes conduits à formuler celles qui suivent.

Les dégagements instantanés de grisou paraissent jus-qu'à présent inconnus dans les mines de houille françaises; en Belgique, ils se rencontrent à peu près exclusivement dans la province du Hainaut. Cependant il n'est pas permis d'affirmer avec certitude qu'on ne rencontrera jamais dans les bassins houillers de notre pays, et particulière*ment dans* le bassin du Nord, des accumulations de gaz analogues à celle qui a causé le dernier accident de l'Agrappe.

Les accumulations de gaz qui produisent les dégage-ments subits paraissent ne se rencontrer qu'à des profon-deurs supérieures à 300 mètres. A mesure que la profondeur devient plus grande, la fréquence et l'importance de ces dégagements s'accroissent en même temps.

S'il est impossible de s'opposer à ces dégagements subits, s'il paraît même impossible de les prévoir, on peut en conjurer les dangers par des mesures de précaution, parmi lesquelles les suivantes semblent découler tout naturellement de l'exposé qui précède :

1° Emploi exclusif, dans la mine, de lampes Mueseler. Sous ce rapport l'accident de l'Agrappe est particulièrement instructif. Le grisou a envahi tous les travaux en quelques instants, il s'est même dégagé avec violence, et nulle part, dans toute l'étendue des galeries, le feu n'a été communiqué au grisou. On peut affirmer qu'il n'en eût pas été de même avec une lampe à simple toile métallique.

2° Interdiction absolue, dans l'intérieur de la mine et même au jour, de lampes à feu nu.

3° Les foyers de chauffage et autres établis au jour devront être garnis de toiles métalliques.

4° Les puits déboucheront au jour en plein air, et aucune construction de quelque importance ne devra les recouvrir, ni surtout en recouvrir plusieurs à la fois. C'est là une prescription essentielle, et l'accident de l'Agrappe montre à quels dangers on est exposé lorsque les orifices de tous les puits sont placés sous le même bâtiment. Cette disposition vicieuse doit d'ailleurs être proscrite dans toutes les mines, car il peut toujours survenir un incendie qui, alors, s'opposant à l'accès des travaux pendant un temps plus ou moins long et suspendant l'aérage, expose les ouvriers aux plus grands dangers.

Avant de terminer, nous nous demanderons si les dégagements instantanés du Hainaut n'ont rien à apprendre aux mineurs de notre pays. Sans doute, comme nous l'avons dit plus haut, on n'a point constaté chez nous de semblables phénomènes, au moins sur une échelle comparable à celle qu'ils atteignent chez nos voisins belges. Mais ne peut-on point se demander s'il ne se produit pas dans toutes les mines des phénomènes analogues, demeurés

inaperçus à cause de leur importance relativement faible. Si dans une mine balayée par un courant d'air suffisant pour diluer et rendre inoffensive la quantité de grisou dégagée normalement par l'exploitation, il se produit en un point des travaux un dégagement instantané de 10 mètres cubes de gaz seulement, cela suffira pour rendre explosif *au maximum* l'air de 100 mètres de galerie. Un semblable dégagement passera inaperçu pour les mineurs et ne se manifestera que par l'envahissement d'une partie des chantiers par le gaz. Ne serait-ce pas à une cause analogue que l'on doit rapporter ces cas étranges de catastrophes épouvantables venant dévaster des mines dans lesquelles on n'avait signalé la veille ou même le matin que des traces de gaz? Les dégagements instantanés du Hainaut montrent, dans tous les cas, que l'on n'est point en droit de conclure de l'absence du grisou dans la mine pour un instant donné, à son absence nécessaire pour l'instant suivant. Ils montrent qu'en outre du dégagement du grisou en quelque sorte normal et proportionnel à la surface de houille mise à nu dans un temps donné, il peut se faire aussi des dégagements imprévus et brusques, changeant *en un clin* d'œil toutes les conditions de sécurité de l'exploitation. Il faut en conclure que, *dans les mines grisouteuses, l'envahissement des chantiers par le gaz doit toujours être considéré comme imminent.* On ne saurait donc, sans danger, faire reposer uniquement la sécurité des travaux sur un régime d'aérage tel que le grisou soit ordinairement dilué de manière à devenir inoffensif. En outre de cette mesure indispensable et primordiale, il est encore nécessaire que tout dans la mine, éclairage, coups de mine, etc., soit *disposé* en prévision d'un dégagement de gaz brusque, toujours possible, et pouvant rendre *explosive* en un laps *de temps* très-court l'atmosphère d'une portion plus ou moins grande des travaux intérieurs.

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS ARRIVÉS DANS LES MINES ET LES CARRIÈRES.

Extrait de rapports du ministre de l'intérieur, approuvés par l'empereur, et concernant les actes de courage et de dévouement signalés à l'administration depuis la fin de 1853 *jusqu'en* 1870 (*).

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		30 octobre 1853.		
		LOIRET.	Classes.	
Cabaret (François), conducteur de travaux à Saint-Hilaire-lez-Andrésis.	Ervauville, 8 oct. 1853.	S'est courageusement fait descendre au fond d'une marnière pour en retirer un ouvrier qui venait d'y être englouti.		2e
		SAÔNE-ET-LOIRE.		
Desserle (Jean), **Tremeau** (Antoine), **Virot** (Benoît), **Content** (Charles), **Laussot** (Joseph), **Barret** (Antoine), tous six ouvr. mineurs.	Blanzy, 9 et 29 sept. 1853.	Ont fait preuve du plus courageux dévouement pour secourir plusieurs de leurs camarades lors d'une explosion survenue dans deux puits de la houillère de Blanzy.		2e 2e 2e 2e 2e 2e
Béraud, curé de Blanzy; **Huret**, garde-mines.		Dans la même circonstance, ont dirigé les travaux de sauvetage et montré un courage au-dessus de tout éloge.		1re 1re
		11 mai 1854.		
		SAÔNE-ET-LOIRE.		
Robinet (Victor-Ange-Antoine), cap. du génie;	Ecully.	Ont, par leurs courageux efforts, dégagé un puisatier resté enseveli, pendant vingt jours, au milieu de sables mouvants.	1re	
Porteret (Pierre), **Duval** (Charles-Jos.), **Pilmès** (Jean-P.-Nic.), tous trois serg. du génie;				1re 1re 1re
Brandou (Thom.-Jos.), **Bernard** (Gabriel), **Bacquet** (Alf.-Théop.), tous trois sap. du génie;				2e 2e 2e
Delest, sergent de ville à Lyon.				2e

(*) Cet extrait fait suite à ceux qui ont été publiés dans les *Annales*, 2e volume de 1847, p. 749; 1er volume de 1848, p. 868; 2e volume de 1848, p. 683; 1er volume de 1851, p. 870, et volume de 1853, p. 406.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
		7 juillet 1854.
		GARD.
TELLIER, maître mineur à Trescol.	Trescol, 7 févr. 1854.	A failli perdre la vie en sauvant un ouvrier frappé d'asphyxie dans une des galeries de la mine de Trescol.
		ISÈRE.
VALOUIS père, ouvrier mineur à Communay.	Communay, 21 avril 1854.	A fait preuve du plus courageux dévouement pour sauver d'une mort certaine deux ouvriers mineurs sur le point de périr au fond d'un puits.
		25 octobre 1854.
		LOIRE.
PLANCHET (Baptiste), sapeur-pompier à Firminy.	Firminy.	S'est dévoué pour porter secours à des ouvriers mineurs asphyxiés au fond d'un puits.
		VAR.
ISNARD (Nicolas), anc. matelot à Grasse, MARGUERITE (Pierre-Zéphirin), lieut. de gend. à Grasse, SONGEUX (Franç.-Dés.) gendarme à Grasse.	Grasse, 25 août 1854.	Se sont exposés aux plus grands dangers pour sauver d'une *mort certaine* des ouvriers ensevelis sous un éboulement. (M. le lieutenant Marguerite a déjà obtenu une *médaille* d'honneur en argent.)
		24 janvier 1855.
		CHER.
HUGAULT (Félix), entr. de travaux publics à Bourges.	Bourges, 17 et 18 oct. 1854.	A fait preuve de dévouement et d'intelligence en dirigeant, *au péril* de ses jours, les travaux de sauvetage d'un puisatier enseveli sous un éboulement.
BOYER (Pierre), ouv. mineur à Bourges.		S'est particulièrement distingué et a exposé sa vie lors de ce sauvetage.
		LOIRE-INFÉRIEURE.
BOUSSEAU (Clovis-Benjamin), gendarme à Carquefou.	Carquefou, 9 oct. 1854.	A exposé sa vie pour *retirer* un vieillard tombé dans un puits où une mine avait fait explosion.
		SEINE-INFÉRIEURE.
MOUQUET (Dominique), ouv. carrier à Yébleron; DURAND (Louis-Jules), agent-voyer du canton de Fauville; DARGENT (Armand), maître de poste à Yvetot.	Normanville, 27 mars 1854.	Se sont exposés à des dangers réels pour sauver un ouvrier enseveli sous un éboulement dans une carrière.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		19 mai 1855.		
		ARIÉGE.	Classes.	
GUILHAUME (Paul), contre-maître à l'usine de Camarade.	Camarade, 2 janv. 1855.	A puissamment contribué au sauvetage de quatre ouvriers exposés à périr dans une des galeries de la saline de Camarade.		2e
		GARD.		
DIANOT (Antoine),	La Grand'-Combe, 2 sept. 1854.	Ont donné des preuves d'un grand dévouement lors d'une explosion de gaz, dans les mines de la Grand'Combe, et sont parvenus à arracher trois personnes à une mort certaine.		2e
REGNIER (Victor),				2e
SANOUILLET (Pierre), maîtres mineurs à la Grand'Combe;				2e
COMBE (Joseph),				2e
BAGUET (Auguste), mineurs à la Grand'Combe.				2e
		SAÔNE-ET-LOIRE.		
SOULARY (Aristide),	Grand-Moloy, 3 janv. 1855.	Se sont exposés aux plus grands dangers en organisant et en dirigeant les travaux de sauvetage de six ouvriers renfermés dans une mine envahie par les eaux.		2e
ROBIN (Léopold), sous-ingrs des mines à Epinac.				2e
MICHAUD (Jean), contre-maître mineur à Epinac;		Ont fait preuve de dévouement et ont exposé leurs jours dans la même circonstance. (M. Heuret a déjà obtenu deux médailles en argent.)		1re
DITZ,				2e
DUCHEMIN, mineurs à Epinac;				2e
CHAIGNON (André), maître mineur au Grand-Moloy;				2e
HEURET, garde-mines au Grand-Moloy.			1re	
		SEINE-INFÉRIEURE.		
HOTOT (Parfait), marinier à Varengeville-s.-Mer.	Varengeville-s.-Mer, 20 déc. 1854.	A fait preuve d'un grand dévouement en sauvant, au péril de sa vie, un ouvrier marneur enseveli sous un éboulement.		2e
GÉRARD (Jacq.-Virg.), garde-mines;	Hautot-St-Sulpice, 10 fév. 1855.	Ont fait preuve d'un grand dévouement lors des travaux entrepris pour sauver un ouvrier enseveli dans une marnière. (MM. Gosselin et Dargent sont déjà titulaires de médailles en argent de 1re classe.)		1re
GOSSELIN, garde-min.,			2e	
HAZARD (Adolphe), maît. marn. à Alvimare;				1re
FESSARD (Onésime), ouvrier marn. à Yvetot;				2e
PATIN (Sosthène), charpentier à Yvetot;				2e
DARGENT (Armand), maît. de poste à Yvetot.			2e	

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	11 juillet 1855.	
	SAÔNE-ET-LOIRE.	
MOINE (Jean), MARGUERON (Jean), mineurs au Creuzot; GALOISY (Jean-Bapt.), marqueur au Creuzot.	Le Creuzot, 24 mars 1855.	Se sont signalés par leur dévouement lors de l'éboulement d'une galerie dans laquelle se trouvaient cinq ouvriers.
	19 novembre 1855.	
	ALLIER.	
CAMUS (Gilbert), AUCLAIR (Jean-Pierre), JANTON (Gilbert), AUFAUVRE (Antoine), ouvriers mineurs à Commentry.	Commentry, 4 et 5 juin 1855.	Se sont exposés à de graves dangers pour sauver trois ouvriers renfermés dans une mine envahie par les eaux. (Auclair et Janton ont déjà obtenu une médaille en argent de 2e classe.)
	13 février 1856.	
	MAINE-ET-LOIRE.	
GAIGNARD (Jean), mineur à Chalonnes.	Mine du Désert, 28 7bre 1854.	A sauvé, au péril de sa vie, deux de ses camarades ensevelis sous un éboulement.
	7 mai 1856.	
	SEINE.	
JOBLOT (Pierre), charpent. à Belleville.	Bagnolet, 19 mai 1855.	S'est dévoué pour sauver deux ouvriers tombés dans une carrière.
	SEINE-INFÉRIEURE.	
HAZARD (Adolphe), ouv. piqueur à Yvetot; AUVRAY, cond. des p.-et-chauss. à Yvetot; BARRIER (Elre-Hipp.), agent-voyer de l'arrond. d'Yvetot.	St-Aubin-de-Cretot, 26 janvier 1856.	Se sont signalés par leur dévouement lors des travaux de sauvetage de deux ouvriers ensevelis dans une marnière.
	11 août 1856.	
	HÉRAULT.	
UBERTINO (Pierre), min. APPOLIS (Jacques), ancien mineur, soldat au 46e de ligne; APPOLIS (Louis), COMBÈS (Gabriel), GRANIER (Laurent), mineurs à Graissessac.	Mine de Ste-Barbe, 28 fév. 1856.	Se sont exposés à de graves dangers pour secourir des ouvriers mineurs ensevelis sous un éboulement, par suite d'une explosion de gaz.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		INDRE.	Classes.	
BAUDON (François), sapeur-pompier à Châteauroux.	St-Audibert, 29 mars 1856.	A sauvé, au péril de sa vie, un enfant enseveli dans une carrière sous un éboulement.		2e
		PUY-DE-DÔME.		
CHARMETTE (Genès), brigadier de gendarm. à St-Gervais.	Garretières, 19 mai 1856.	A exposé sa vie pour porter secours à deux ouvriers mineurs asphyxiés.		2e
		SAÔNE-ET-LOIRE.		
JEUNE HOMME (Lazare),	Blanzy, (puits Ravez) 22 déc. 1855.	Se sont distingués lors des travaux de sauvetage de 29 ouvriers ensevelis dans une mine par suite d'une explosion de gaz. (Content est déjà titulaire d'une médaille en argent de 2e classe.)		1re
DIONOT (Jean), dit SOURIS,				2e
PERNETTE (Antoine),				2e
CHAROLAIS (Léonard),				2e
LANGERON (Lazare), maîtres mineurs aux mines de Blanzy ;				2e
CONTENT (Charles), chef de poste ;				1re
THILLIER (Jean), min. aux mines de Blanzy.				2e
		28 mars 1857.		
		AISNE.		
DELIZY (Louis-Antoine) manouvrier à Marigny-en-Orxois.	Marigny-en-Orxois, 25 juillet 1856.	A exposé ses jours pour retirer d'une marnière trois personnes asphyxiées par suite de l'explosion d'une mine.		2e
		DOUBS.		
DONZÉ (Pierre), ouv. mineur à Nommay.	Exincourt, 19 août 1856.	A exposé sa vie pour sauver deux de ses camarades ensevelis sous un éboulement.		2e
		19 mai 1857.		
		PAS-DE-CALAIS.		
RICHER (Pierre), surveillant à la fosse à charbon d'Hénin-Liétard.	Hénin-Liétard, 6 janv. 1857.	Surpris avec deux ouvriers par un éboulement, il est parvenu à se dégager, et, quoique blessé, a sauvé, au prix des plus grands dangers, l'un de ses camarades.		2e
		HAUTE-SAÔNE.		
VIGNON (Franç.-Jos.), maître mineur à Ronchamp.	Ronchamp, 29 janvier 1857.	Lors d'une explosion de gaz qui a coûté la vie à 8 ouvriers mineurs, a donné l'exemple du dévouement pour sauver les survivants et retirer les corps de ceux qui avaient succombé.		1re

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
		SEINE-INFÉRIEURE.
GÉRARD (Virgile), garde-mines; HAZARD (Adolphe), FESSARD (Onésime), DORANGE (Jean), CORNIER (Eugène), piqueurs; JAZÉ, agent-voyer à Bolbec.	Lintot, 6 nov. 1856.	Ont exposé leur vie pendant dix-huit heures pour retirer trois ouvriers ensevelis dans une marnière. (M. Gérard est déjà titulaire d'une médaille en argent de 1re classe, M. Hazard d'une médaille en or de 2e classe, et M. Fessard d'une méd. en argent de 2e cl.)
		DEUX-SÈVRES.
PAILLAUD (Jean), ouv. min. à St-Laurs.	St-Laurs, 26 fév. 1857.	A pris une grande part aux travaux dangereux entrepris pour dégager deux de ses camarades ensevelis sous un éboulement, et dont un seul a pu être sauvé.
		28 octobre 1857.
		BOUCHES-DU-RHÔNE.
GASSIN (Isid.), maçon; PIGNATEL (Gaspard), maître mineur; MUSSAT (Aubin-Dom.), ouvr. mineur à Auriol.	Auriol, 25 nov. 1856.	Ont retiré d'un puits des mines du Pradel seize ouvriers asphyxiés et dont deux ont succombé. *Gassin* a failli périr victime de son dévouement.
		CHER.
BORDELOU (Etienne), ouvrier mineur à Corquoy.	Corquoy, 16 mars 1857.	A, au péril de sa vie, retiré d'un puits un de ses camarades engloutis sous un éboulement.
		19 décembre 1857.
		LOIRE.
LACROIX (Désiré), gouverneur des mines de Rive-de-Gier.	Rive-de-Gier, 14 juillet 1846, 1847.	A pris part, avec un rare dévouement, à deux sauvetages d'ouvriers engloutis dans les mines. (A déjà obtenu une méd. en argent de 2e cl. et compte 45 ans de services.)
BRUYÈRE (François), MARCONNET, dit CHAMPAGNE, ouvr. minrs à Firminy.	Firminy, 29 déc. 1856.	Ont, au péril de leurs jours, aidé au sauvetage d'ouvriers mineurs ensevelis sous un éboulement.
SCHEMITH (Joseph), ouvrier mineur à Montbrison.	Monthieux, 13 déc. 1856.	A couru de grands dangers en sauvant trois ouvriers surpris par un éboulement dans une mine.
		NORD.
BIOT fils (Jules), FOUCART (Charles), ouvriers mineurs à Douchy.	Douchy (commune de Lourches), 4 juin 1857.	Ont failli périr victimes de leur dévouement en sauvant leurs camarades, surpris dans la mine par une explosion de feu grisou.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		SEINE.		Classes.
DUBOS, ouvrier carrier à Fontenay-aux-Roses.	Fontenay-aux-Roses, 8 févr. 1857.	A contribué, au péril de sa vie, à retirer un ouvrier enseveli dans une sablonnière. S'était distingué précédemment dans des circonstances semblables.		2e
		1er mai 1858.		
		CHER.		
PRÉVOST (Jean), ouvr. mineur à Trouy.	La Chapelle-St-Ursin, 22 7bre 1857.	A sauvé, au péril de sa vie, un ouvrier qui allait être asphyxié dans un puits de mine.		2e
		30 octobre 1858.		
		SEINE.		
PEUPIN (Leufroy-Fr.), ouvr. carrier à Ivry; LAMBERT (Paul), maître charp. à Vitry.	Ivry, 2 juillet 1857.	Se sont particulièrement distingués dans les travaux de sauvetage de plusieurs ouvriers ensevelis, par suite d'un éboulement, dans une carrière.		2e 2e
		11 janvier 1859.		
		PYRÉNÉES-ORIENTALES.		
PUIGSÉGUR (Martin), ouvr. mineur à Lecca, commune de Corsavy.	Batère, 7 juillet 1858.	A, au péril de sa vie, délivré un de ses camarades enseveli sous un éboulement dans la mine de la Cabraille.		2e
		VIENNE.		
GUILLON (Charles), ancien sous-officier à Poitiers.	Poitiers, 11 janvier 1858.	A sauvé, au péril de ses jours, un homme enseveli sous des décombres par suite d'une explosion de mine. (Déjà titulaire de 2 médailles en argent.)	2e	
		30 mars 1859.		
		CHER.		
LAINÉ (Louis), ouvrier mineur à Dun-le-Roi.	Dun-le-Roi, du 8 août au 21 sept. 1858.	A dirigé, avec zèle et dévouement, les travaux entrepris pour retirer d'une mine deux ouvriers ensevelis sous un éboulement.		2e
		22 août 1860.		
		ALLIER.		
DUBREUIL (Michel), maître mineur à Commentry.	Commentry, 8 févr. 1860.	A couru des dangers sérieux en portant secours à un ouvrier blessé mortellement dans un puits de mine.		2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	23 janvier 1861.	
	SEINE-INFÉRIEURE.	
BARBET, maître maçon à Bolbec; JAZE, agent-voyer à Bolbec; LAMOTHE (Alexandre), MOUQUET (Césaire), ouvr[rs] marn. à Bolbec.	Rouville, 21 avril 1860.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour sauver un ouvrier enseveli sous les décombres d'une marnière.
	13 mars 1861.	
	MAINE-ET-LOIRE.	
BURETTE (Louis), contre-maît. à l'ardois[re] des Grands-Carreaux, à Trélazé; MANCEAU (François), ouvrier à l'ardoisière des Grands-Carreaux, à Trélazé.	Trélazé, 12 septemb. 1860.	Ont couru des dangers sérieux en portant secours à deux ouvriers précipités d'une hauteur de *50 mèt.* par un éboulement.
	30 juin 1861.	
	GARD.	
RAPHANEL (Pierre-Fr.), garde-mines à Saint-Etienne; FAVIER (Antoine), gouverneur de mines; MAIGRE (Antoine), ouv. min. à St-Etienne.	St-Etienne, 5 mars 1861.	Ont, au péril de leur vie, sauvé un enfant enseveli sous un éboulement.
	MAINE-ET-LOIRE.	
MERIENNE (François), clerc d'en bas à la carr. des Fresnais, commune de St-Barthélemy.	St-Barthélemy, 14 déc. 1860.	A, au péril de sa vie, pris la plus grande part au sauvetage de deux ouvriers ensevelis sous un éboulement.
	SEINE-INFÉRIEURE.	
DUNOWSKI, garde-min.; LEFEBVRE (Louis), LEVASSEUR (Célestin), ANDRIEUX (Daniel), dit LACAILLE, maîtres marneurs; RECHER (Arthur), PIEDNOËL (Thomas), ouvriers marneurs.	Bornambusc, 29, 30, 31 janvier et 1[er] février 1861.	Ont pris la plus grande part au sauvetage d'un ouvrier enfermé par un éboulement dans une marnière.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		7 novembre 1861.		
		LOIR-ET-CHER.	Classes.	
Noulin (Claude), tonnelier à Montrieux;	Montrieux (commune de Naveil), 13 avril 1861.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour dégager un ouvrier carrier enseveli sous un éboulement.		2e
Montaru-Gillard,				2e
Montaru (Louis), maçons à Naveil;				2e
Bon (Auguste), carrier à Montrieux.				2e
		LOIRE.		
Auzer (Antoine), ouv. min. à St-Etienne.	St-Étienne, 1er oct. 1844, 20 déc. 1851.	Est descendu dans un puits de mine pour en retirer un ouvrier asphyxié S'est également distingué dans un incendie		2e
Favier (Antoine), gouv. du puits du Treuil à St-Etienne;	St-Étienne, 26 mai 1861.	Ont rivalisé de dévouement pour sauver huit ouvriers qui travaillaient dans le puits du Treuil, où une explosion venait d'éclater. (M. Favier, qui s'est particulièrement distingué, est titulaire d'une méd. d'argent.)	2e	
Dange, dir. des travaux;				2e
Padet (Michel),				2e
Padet (Barthélemy),				2e
Bertholon (Julien),				2e
Journoud (Pierre),				2e
Fauriat (Jacques),				2e
Guillaume (Jean),				2e
Magdeleine (Franç.),				2e
Rolly (Jean),				2e
Menu (Michel),				2e
Vignol (Barthélemy),				2e
Gonon (Claude),				2e
Brière (François),				2e
Martinier (Jean-Mar.)				2e
Epalle (Antoine),				2e
Graille (Claude),				2e
Blache (Jean),				2e
Vialon (Jacques), ouv. min. à St-Étienne;				2e
Reverchon (Claude), à St-Etienne.				2e
		NORD.		
Blaise (Charles), vérificateur des mines à Douchy.	Valenciennes, 1829; Lourches, 1839-48-57.	En quatre circonstances différentes, a exposé ses jours pour sauver six personnes en danger de périr dans les houillères.		2e
		SAÔNE-ET-LOIRE.		
Dumay (Pierre), maître min. au Creuzot;	Le Creuzot, 22 mai 1860.	Après trente heures d'un travail des plus dangereux, ont retiré d'une mine un ouvrier enseveli sous un éboulement. (Moine (Jean) est titulaire d'une médaille en argent de 2e cl.)		2e
Montcharmon (Claud),				2e
Moine (Jacques),				2e
Moine (Jean), ouvrs minrs au Creuzot.				1re

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
		21 mai 1862.
		GARD.
AUBERTO (Antoine), toiseur aux mines de Lalle.	Lalle.	A, au péril de sa vie, sauvé cinq ouvriers, lors de la catastrophe des mines de Lalle.
		JURA.
KISCHER (Pierre), ouv. mineur à Ougney.	Ougney, 19 déc. 1861.	A exposé ses jours pour sauver son camarade blessé par l'explosion d'une mine.
		PAS-DE-CALAIS.
VICOT (Louis), ouvr. mineur à Sains; PÉTIOT (Alexandre), ouvr. mineur à Nœux.	Bully-Grenay, 6 nov. 1861.	Ont exposé leurs jours pour sauver leur camarade blessé et sur le point d'être précipité dans un abîme de plus de 200 mètres de profondeur.
		25 octobre 1862.
		CORRÈZE.
GRANGES (Jean), caporal au 18e bataillon de chasseurs à pied, en congé à Argentat.	Argentat, 21 déc. 1861.	A été blessé en concourant au sauvetage d'un ouvrier enseveli sous un éboulement dans une carrière.
		LOIRET.
JEANTHEAU (Jean-Ét.), sergent-major des sapeurs-pompiers de Puiseaux.	Puiseaux, 15 avr. 1852, 30 nov. 1861.	A été blessé dans un incendie et s'est dévoué pour secourir un ouvrier surpris par un éboulement dans une carrière; 32 ans de services.
		14 février 1863.
		DRÔME.
CHABERT (François), maçon à Montbrun; GIRAUD (Auguste), apprenti cordonnier à Montbrun; BONNET (Victor), PLAINDOUX (Joseph), cultivat^rs à Montbrun.	Montbrun, 30 et 31 déc. 1861.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour retirer d'une carrière deux ouvriers ensevelis sous un éboulement. Les trois derniers ont été blessés.
		28 février 1863.
		LOIRE.
PÉRUSSEL (Martin), ouv. min. à St-Étienne.	St-Étienne, 5 mars 1861.	A concouru au sauvetage d'un enfant enseveli sous un éboulement.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		7 septembre 1863.		
		GARD.		Classes.
Carrière (Louis), ouvrier aux mines de Lalle.	Vialas (Loz.) 7 déc. 1858; Lalle, 11 oct. 1861.	A concouru au sauvetage des ouvriers ensevelis dans les mines de Lalle.		2e
		LOIRE.		
Pailleux, ing. des min. de la Grand'Croix;	Grand'-Croix, 18 avr. 1863.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour sauver des ouvriers surpris dans les mines de la Grand'-Croix par une explosion de feu grisou. Boyon a sauvé, en 1851, un enfant qui se noyait.		1re
Brosse (Claude), gouverneur, id.;				1re
Jacquemetton (J.-B.), sous-gouvern., id.;				2e
Stenneler (Ferd.),				2e
Boyon (Pierre-J.-Mar.)				2e
Dubuy (Jean-Bapt.),				2e
Perrichon (Bruno),				2e
Desplacieux (J.-B.), ouvriers mineurs.				2e
		20 janvier 1864.		
		SEINE-INFÉRIEURE.		
Levebours (Louis-N.), instituteur public à Orival.	Orival, 15 nov. 1862.	S'est exposé pour assurer le sauvetage d'un ouvrier surpris par un éboulement dans une carrière.		2e
		20 mai 1864.		
		NORD.		
Husson (Alexandre), maître porion à la concession houill^re d'Annœullin.	Annœulin, 10 mars 1864.	A sauvé deux mineurs ensevelis sous un éboulement. S'était déjà distingué dans deux circonstances semblables.		2e
		4 décembre 1864.		
		DORDOGNE.		
Boucaud (Jean), ouv. mineur au Bugne.	Le Bugne, 18 juillet 1864.	A failli périr en cherchant à secourir un de ses camarades asphyxié au fond d'un puits.		2e
		28 décembre 1864.		
		NORD.		
Lehu (Louis-Joseph), ouv. mineur à Abscon.	Abscon, 19 septemb. 1863.	A été atteint de brûlures graves en secourant un enfant dans une explosion de feu grisou.		2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	25 février 1865.	
	MORBIHAN.	
MACÉ (Franç.-Marie), soldat de la marine à Rochefort.	Malansac, 22-23 août 1864.	Est descendu, la **nuit**, dans une carrière, où un **éboulement** venait d'avoir lieu, et a *sauvé* un des ouvriers.
	12 juillet 1865.	
	NORD.	
DUMONT (Jules), sous-direct. des travaux aux mines d'Anzin; DULIEU (Jean-Bapt.), lampiste aux mines de Denain; QUIVY (Léopold), maître porion à Denain; LEBON (André), maître min. à Denain; BOTTE (Henri), JOLY (Louis), porions à Denain; WATTIEZ (Jean-Bapt.), ouvr. mineur à Denain.	Denain, 9 févr. 1865.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour sauver vingt-huit ouvriers mineurs surpris, par une *explosion* de gaz inflammable, dans l'une des fosses de la concession houillère d'Anzin.
	23 novembre 1865.	
	HAUTE-SAÔNE.	
REUCHE (Claude-Fr.), PIGUET (Constant), BILLOTTE père (Joseph), manouvriers à Fallon; BOISSENET (Eug-Marc), cantonnier à Georfans; GAUTHIER (Auguste), couvreur à Fallon; BÉLIARD (Charles-Fr.), gendarme à Villersexel.	Fallon, 12 mai 1865.	Ont exposé leur vie pour *porter* secours à des personnes asphyxiées dans la houillère de Melecey-Fallon.
	2 décembre 1865.	
	LOIRE.	
DESVIGNES (Julien), gouverneur de la concession houill. de la Béraudière.	9 juin 1860.	S'est dévoué pour sauver un ouvrier mineur enseveli sous un éboulement.
	TARN.	
GROC (Amand), maître min. à Carmaux.	Carmaux, 17 mai 1865.	A concouru avec le plus énergique dévouement aux travaux entrepris pour secourir quatre ouvriers qui ont péri dans une mine envahie par les eaux.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		21 février 1866. ARIÈGE.	Classes.	
Barbe (Henri), dit **Lagrotte**, mineur à la concession houillère d'Alzen.	Alzen, 15 déc. 1865.	S'est particulièrement distingué dans le sauvetage de deux ouvriers ensevelis sous un éboulement.		2^e
		26 mai 1866. VOSGES.		
Begin (Constant), chef min. à la houillère de Gemmelaincourt.	Gemmelaincourt, 18 mars 1866	A sauvé un ouvrier mineur qui allait être asphyxié dans une mine.		2^e
		12 septembre 1866. PYRÉNÉES-ORIENTALES.		
Barbe (Henri), dit **Lagrotte**, **Barbe** (Antoine), dit **Couillé**, **Salgues** (Bonavent^{re}), **Colomer** (Jean), ouvriers mineurs.	Fillols, 10 avr. 1866.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement dans les travaux entrepris pour secourir deux ouvriers ensevelis sous un éboulement.		1re 1re 2e 2^e
		17 octobre 1866. AISNE.		
Louis (Paul-Honoré), maît. carr. à Laversine; **Lefèvre** (Louis), cultivateur à Fontenoy; **Malivoir** (Charlemag.) maît. charp. à Cœuvres; **Gourlet** (Max.-Wilf.) **Desprez** (Germain), **Desprez** (Eustache), carr. à St-Pierre-Aigle.	Laversine, (commune de Cœuvres) 11, 12 et 13 sept. 1866.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement, pendant 48 heures, pour opérer le sauvetage de six ouvriers ensevelis dans une carrière, sous un éboulement.	2^e	 2e 2e 2e 2e 2^e
		27 novembre 1866. PUY-DE-DÔME.		
Guillot (Philippe), contre-maître mineur à St-Pierre-le-Chastel.	Chapelle-de-Beaufort, 28 juin 1858, 30 7bre 1860, 13 janv 1866.	A sauvé des ouvriers asphyxiés dans des puits de mines, et s'est distingué dans un incendie.		2^e
		26 décembre 1866. RHÔNE.		
Jacquet (Louis-Mar.), soldat au 89e régiment d'infanterie, en congé à Claveizolles.	Claveizolles, 18 déc. 1865.	A sauvé un ouvrier mineur tombé sans connaissance près de deux fourneaux qui allaient faire explosion.		2^e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	30 avril 1867. PAS-DE-CALAIS.	
WYNS (Louis), COURQUIN, CLINQUART (Frédéric), DIEU (Joseph), DIEU (Jean-Baptiste), ouvriers min. à Marles.	Marles, 28 avril 1866.	Ont pris une part active aux travaux entrepris pour consolider la fosse houillère de Marles qui s'est éboulée à la suite d'une irruption d'eaux souterraines; le maître porion Wyns s'est particulièrement distingué.
	23 mai 1867. GARD.	
MALPLAT, directeur des mines d'Avejan; BOIRON (Alphonse), BROUSSE (Jean), ouvriers mineurs à St-Julien-de-Peyrolas	St-Julien-de-Peyrolas, 12 déc. 1866.	Ont couru des dangers réels en cherchant à sauver trois ouvriers mineurs ensevelis sous un éboulement.
	13 juillet 1867. SEINE-INFÉRIEURE.	
JAZÉ (Édouard), agent-voyer cantonal à Bolbec; CACHELEU (Charles), ouv. piq. à Lanquetot; MOUQUET (Pierre), maît. carr. à Yébleron; LAMOTTE père, carrier à Bolbec.	Lanquetot, 27 mars 1867.	Se sont particulièrement fait remarquer dans le sauvetage d'un ouvrier carrier enseveli sous un éboulement. (Jazé est titulaire d'une méd. en argent de 1re cl.)
	15 janvier 1868. SAÔNE-ET-LOIRE.	
CHAGOT (Frs.-Léonce), dir. gén. de la comp. des mines de Blanzy; DE LAGOUTTE (Gust.), ingénieur divisionnaire attaché à la Compag.; THIBOU (Henri), géomètre du fond; PERNETTE (Claude), SAULNIER (Jean-Cl.), DESBRIÈRES (Philibert), chefs de poste; GRESSARD fils (Pierre), BARACCO (Dominique), LAURENT (Pierre-Cad.), AUBENICHE (François), DESSOLIN (Auguste), DOYEN (Lazare), VIVOT (Claude), ouvriers mineurs.	Blanzy-lès-Montceaux.	Se sont particulièrement distingués pour le sauvetage d'ouvriers mineurs dans une explosion de grisou.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
13 février 1868.				
SEINE.			Classes.	
TESTOUT, ferblantier à Montrouge.	Montrouge, 31 juillet 1867.	Est descendu deux fois dans une carrière pour chercher à sauver deux ouvriers asphyxiés.		2e
28 mars 1868.				
PAS-DE-CALAIS.				
PROCUREUR, RANITAUX, ouvrs minrs à Oignies.	Oignies, 25 nov. 1867.	Ont puissamment concouru au sauvetage de deux de leurs camarades ensevelis sous un éboulement.		2e 2e
13 juin 1868.				
ALLIER.				
MIRC, ing de la mine de Bézenet ;	Bézenet, 1er janvier 1868.	Se sont dévoués pour porter secours à plusieurs ouvriers surpris par un incendie dans une galerie de la mine. (M. Mirc a déjà obtenu une méd. en argent de 1re classe.)	2e	
MONTEL (Charles), DESPIERRE (Charles), MEUNIER (Gilbert), ouv. minrs à Bézenet ;				2e 2e 2e
PERRIER, entrepreneur à Bézenet.				2e
18 août 1868.				
HAUTE-MARNE.				
ROUARD (Etienne),	Pont-Varin, 24 avril 1868.	S'est dévoué pour porter secours à un ouvrier asphyxié dans un puits.		2e
RATLOT (François), ouvriers aux minières du Pont-Varin, commune de Vassy.		A sauvé Rouard qui allait être victime de son dévouement.		2e
28 août 1868.				
LOIRE.				
GIRARD (Jean-Ant.), ingénieur ; VERDIER (Christophe), gouv. de mine ; POIRIEUX (Etienne), chef mineur à Rive-de-Gier.	Puits Ste-Barbe, 18 juillet 1868.	Se sont dévoués pour porter secours à sept ouvriers surpris dans une mine par une explosion de grisou.		2e 2e 2e
19 octobre 1868.				
HÉRAULT.				
CROS (Jean), garde-champêtre à Creissan.	Creissan, 15 juin 1868.	A couru des dangers sérieux en sauvant un ouvrier mineur asphyxié au fond d'un puits.		2e
SALLES (Philibert), forgeron à Boujan.	Boujan, 15 juill 1868.	S'est également exposé dans une circonstance semblable.		2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS
		PAS-DE-CALAIS.
PANTIGNIES (Louis), surveillant à la mine d'Ostricourt.	Ostricourt, 6 févr. 1868.	A montré un courage exceptionnel en dirigeant les travaux entrepris dans la fosse d'Oignies pour porter secours aux victimes d'une explosion de feu grisou.
		SEINE-ET-MARNE.
RAMSTEINN (Nicolas), ouvrier mineur à Fontainebleau.	Fontainebl., 19 juillet 1868.	A concouru activement au sauvetage de sept ouvriers ensevelis sous un éboulement.
		26 décembre 1868.
		GARD.
CESSENAT (Armand), BRIGNAND (Frédéric), min. à la Grand'Combe.	La Grand'-Combe, 1er oct. 1868.	Ont exposé leurs jours pour retirer d'une mine de charbon un ouvrier enseveli sous un éboulement.
		LOIRE.
DESVIGNES (Victor), sous-ingén. des mines à Villars ; VALOUR (Joseph), GIDROL (Claude), mineurs à Villars ; AUGÉ (Pierre), THOMAS (Ferdinand), sous-ingrs à St-Etienne ; PARET (Marcellin), gouv. à la Boutonne, près Villars ; BEAUFILS (Auguste), mineur au Monastier (Haute-Loire) ; BONAVION (Pierre), mineur à Villars ; PARET (Jean-Baptiste), s.-gouv. à la Boutonne ; GUÉRIN (Pierre), mineur à Villars ; PUPIER (Pierre), min. à St-Genest-Lerpt ; ROYER (Pierre), min. au Bois-Monzel, près Villars.	Villars, 11 oct. 1867	Ont rivalisé de dévouement dans la catastrophe du puits Beaunier, où 39 ouvriers ont péri victimes d'une explosion de grisou.
		14 avril 1869.
		ALLIER.
MOREAU, ouv. mineur à Commentry.	Commentry, 7 janv. 1869.	S'est dévoué pour porter secours à un ouvrier surpris par un éboulement dans les houillères de Commentry.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		19 novembre 1869.		
		HAUTE-SAÔNE.		Classe 1.
VUILLEMEY (François), maît. min. aux houill[res] de Ronchamp.	Ronchamp, 23 janvier 1869.	A sauvé deux mineurs descendus dans les galeries du puits Ste-Marie, où une explosion de gaz venait d'avoir lieu.		2[e]
		1[er] décembre 1869.		
		GARD.		
REYNARD (Eugène), MASMÉJAN (Bazile-V[r]), ouv. mineurs à Portes.	Portes, 16 fév. 1869.	Se sont dévoués pour sauver un de leurs camarades surpris par un éboulement dans la mine des Bouziges.		2[e] 2[e]
		21 décembre 1869.		
		SEINE-INFÉRIEURE.		
LAMOTTE père (Alex.), maît. carrier à Bolbec ; NIBOUREL (Antoine), garde-mines à Rouen.	Languetot, 7, 8 et 9 mai 1869.	Ont puissamment concouru au sauvetage d'un ouvrier carrier enseveli sous un éboulement. (Lamotte a déjà obtenu deux médailles d'argent.)	2[e]	 2[e]
		26 janvier 1870.		
		MAINE-ET-LOIRE.		
DAVY (Louis-Paul), ingénieur ; BOURNANCÉ (François), maître charpentier ; VERDIER père (Franç.) ouvrier boiseur ; GAUDUCHON (Félix-L[s]), MÉNARD (Julien), ouvriers mineurs ; CORNEBOIS (Cl.-Franç), inspecteur des travaux ; tous employés aux mines de Layon-et-Loire.	Chaudefonds, 19 oct. 1869.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour porter secours à des ouvriers surpris par un incendie dans le puits des Malécots.		2[e] 2[e] 2[e] 2[e] 2[e] 2[e]
		PUY-DE-DÔME.		
COLLET (Sylvain), ouv. mineur à Brassac.	Brassac, sept. 1868.	A sauvé trois ouvriers mineurs précipités d'une benne dans l'eau d'un puits, par suite de la rupture des chaînes.		2[e]
		26 février 1870.		
		PUY-DE-DÔME.		
BARD (Antoine), ouv. mineur à Brassac.	Brassac, 28 août 1869.	Sauvetage d'un de ses camarades tombé dans un puits.		2[e]

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	VAUCLUSE.	
CHARRASSE (Jean Jos.), maire de Beaumont-d'Orange.	Beaumont, 18 août 1869.	Est descendu dans un puits pour sauver un ouvrier asphyxié à la suite de l'explosion d'une mine.
	29 avril 1870.	
	PAS-DE-CALAIS.	
MARÉCHAL (Edouard), MARÉCHAL (Charl.-Ls), premrs maîtres porions; CAZIN (Franç.), porion; LANCIAUX (Auguste), REGNAUT (Auguste), DILLY (Hyacinthe), FOUQUEL (Michel), ouvriers mineurs; FOUACHE (François), porion; GUILLEMANT (Franç.), QUÉNU (Firmin), ouv. mineurs aux mines de Bully-Grenay.	Bully-Grenay, 18 nov. 1869.	Se sont dévoués pour porter secours à des ouvriers surpris dans la mine par un incendie.

Extrait de rapports du ministre de l'intérieur, concernant les actes de courage et de dévouement signalés à l'administration depuis la fin de 1870 jusqu'à ce jour.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	11 novembre 1870.	
	SEINE-INFÉRIEURE.	
NIBOUREL (Antoine), garde-mines à Rouen; BOYER (Baptiste), maître carr. à Bosville; CADINOT (Ernest), mre carr. à Gerponville; LECLERC (Zacharie), ouvrier marneur à Hareauville.	Ourville, 16 et 17 mai 1870.	Ont exposé leur vie pour porter secours à deux ouvriers surpris par un éboulement dans une marnière. (M. Nibourel a déjà obtenu une médaille de 2e classe.)
	27 décembre 1871.	
	LOIRE.	
VILLIERS (Benjamin), ingénieur en chef de la soc. des houillères de St-Etienne.	St-Étienne, 8 nov. 1871.	A fait preuve du plus grand courage et d'une rare énergie pour secourir les nombreuses victimes de l'accident du puits Jabin.
BAYLE (Paul), ingenieur des travaux; MEUNIER (Pierre), gouvern. des travaux; SANCHEZ, dit CHANGE, ouvrier mineur.	Id.	Ont secondé leur ingénieur en chef avec le plus grand dévouement.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		LOIRE (*suite*).	Classes.	
Haon (Pierre), **Sibert** (François), **Jaure** (Louis), ouvriers mineurs.	St-Étienne, 8 nov. 1871.	Ont sauvé plusieurs de leurs camarades.		1re 1re 1re
Malval (Jean), **Thomas**, **Gonon**, ouvriers mineurs.	Id.	Se sont particulièrement fait remarquer par leur courageux dévouement.		2e 2e 2e
		31 janvier 1872. **LOIRE.**		
Boudarel (Jean), gouvern. des travaux à la houill. de Firminy et de Roche-la-Molière; **Suzat fils** (Franç[s]), min.	Firminy et Roche-la-Molière, mai et août 1869.	Ont fait preuve du plus courageux dévouement, lors de deux terribles explosions de grisou, pour opérer le sauvetage d'un grand nombre de victimes.		1re 1re
Limousin (André), **Berthet** (Antoine), gouvern[rs] des travaux; **Monistrol** (Jacques), **Sagnard** (Jean-Bapt.), **Roux** (Jean-Baptiste), sous-gouverneurs; **Rochette** (Hippolyte), **Royon** (Jean), **Troussieux** (Franç.), **Dubouchet** (Antoine), **Limousin** (Laurent), **Berthet** (Clément), **Gonon** (Mathieu), ouvriers mineurs.	Id.	Se sont particulièrement distingués dans les mêmes circonstances.		2e 2e 2e 2e 2e 2e 2e 2e 2e 2e 2e 2e
		25 mai 1872. **LOIRE.**		
Ferréol (Jean-Marie), gouvern. des travaux aux mines d'Unieux et de Fraisse; **Duboeuf** (Paul), sous-gouverneur; **Pichon** (Jacques), **Hude** (Louis), ouvriers mineurs.	Unieux, 5 févr. 1872.	Ont fait preuve d'un grand dévouement, dans une explosion de grisou, pour opérer le sauvetage des victimes.		1re 2e 2e 2e
		23 septembre 1872. **LOIRE.**		
Dubuisson (Louis), sous-gouv. de mines.	Concession du quartier Gaillard, 9 mai 1872.	A fait preuve d'un courage et d'un dévouement remarquables pour sauver un des gouverneurs de la mine tombé dans le puisard.		1re

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	21 novembre 1872.	
	BASSES-ALPES.	
BERTHET (Pierre-And.) ouvr. mineur à Mane.	Mane, 7 sept. 1872.	Est descendu au fond d'un puits pour en retirer un de ses camarades sur le point de périr asphyxié.
	2 mars 1873.	
	LOIRE.	
BOUDAREL (Jean), gouverneur de travaux à la concession des mines de Roche-la-Molière et Firminy.	Roche-la-Molière et Firminy, 9 avril 1872.	A fait preuve d'un courage remarquable et s'est exposé aux plus grands dangers pour sauver plusieurs ouvriers surpris par une inondation subite des galeries. Déjà titulaire d'une médaille en argent de 1re classe.
BONHOMME (Laurent), gouv. à la même conc.; ROUX (Jean-Baptiste), sous-gouverneur.	Id.	Ont également dirigé avec un rare dévouement les travaux de sauvetage. (Roux est déjà titulaire d'une méd. en argent de 2e classe.)
SUC (Claude), gouv.; LÉVÊQUE (Jacques), sous-gouverneur; BERTHET (P^{re}), piqueur; LIMOUSIN (And.), gouv.; ROZON (Jean), TROUSSIEUX (Franç.), sous-gouverneurs.	Id.	Ont prêté le plus utile concours à l'exécution des travaux. (Limousin, Rozon et Troussieux sont déjà titulaires d'une méd. de 2e cl.)
SUC (Joanny), sous-gouverneur; GRANGER (Jean), ouvrier mineur; FAYOL (Georges), sous-gouverneur; LIMOUSIN (Gabr.), min.	Id.	Se sont distingués dans les mêmes circonstances.
	6 mai 1873.	
	EURE.	
SOUILLARD, ag.-voyer à Beuzeville.	Le Torpt, 8 nov. 1872.	A fait preuve de dévouement pour sauver un ouvrier qui, à la suite d'un éboulement, était enseveli dans une marnière souterraine.
	23 mai 1873.	
	SEINE-INFÉRIEURE.	
VENAMBRE (Joseph), agent-voyer cantonal; LEGRAND (Louis), ouvrier marneur à Gommerville.	Gommerville, 4 déc. 1872.	Ont fait preuve d'un grand dévouement pour sauver deux ouvriers engloutis dans une marnière.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		25 juillet 1873. LOIRE.	Classes.	
PARROT (Antoine), maître maçon attaché aux mines de Beaubrun.	Beaubrun, 23 mars 1873.	Sauvetage d'un ouvrier tombé au fond d'un puits.		2e
		2 septembre 1873. SAÔNE-ET-LOIRE.		
MCUTTÉ, maître mineur aux houill^res de Blanzy; PERNETTE, chef de poste; NINLIAS (Réné), ouvrier émageur.	Blanzy, 8 nov. 1872.	Se sont particulièrement distingués lors des travaux de sauvetage opérés à la suite d'une explosion de grisou dans les houill^res de Blanzy.		1re 1re 1re
VERNET (Jean-Marie), DESPONCHES (Franç.), ouvriers mineurs.	Id.	Ont fait preuve de dévouement dans les mêmes circonstances.		2e 2e
		20 septembre 1873. AVEYRON.		
ARTRU (Auguste), maître mineur à Decazeville.	Decazeville, 15 août 1870.	S'est particulièrement distingué lors de l'inondation de la mine de Bourran.		2e
		GARD.		
MALAVILLE (Frédéric), ACHIEZ (Jean-Bapt.), ouvr. mineurs à Lalle.	Lalle, 15 septemb. 1871.	Ont sauvé un de leurs camarades surpris par un éboulement. (Malaville s'est tout particulièrement distingué en cette circonstance.)		1re 2e
		TARN.		
COUDERC (Pierre), âgé de 17 ans, employé aux mines de Carmaux.	Carmaux. 9 déc. 1872.	A sauvé un ouvrier en danger de périr à la suite d'un éboulement.		2e
		31 octobre 1873. GARD.		
BROSSARD (Pierre), maître min. à la Comp. houillère de Bessèges; CRUÈZE (Privat), boiseur-mineur; FUSTIER (François), chef de poste aux mines de Trélys; CAMUS (François), maître mineur à la Comp. de Bessèges; MARIGNIER (Jean), ouv. à la même Comp.; DUMAS (Joseph), ouv. aux min. de Trélys.	Créal, 29 juin 1869.	Ont fait preuve d'un courageux dévouement en travaillant au sauvetage des ouvriers victimes de l'accident survenu à la mine de Créal. (Brossard est déjà titulaire d'une méd. de 2e classe.)		1re 2e 2e 2e 2e 2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	18 décembre 1873.	
	LOIRE.	
REBAUD (Jacques), ouvrier aux mines de la Porchère.	La Porchère, 7 août 1873.	A fait preuve du plus grand dévouement pour sauver un de ses camarades tombé dans un puisard.
	19 juillet 1874.	
	GARD.	
MAGNET (Isidore), ouvrier aux mines de Portes et Sénéchas.	Lavernarède, 20 7bre 1873.	A sauvé un homme tombé dans un puisard.
	SEINE-INFÉRIEURE.	
CACHELEUX (Charles-Augustin), AUBLÉ (Édouard), maîtres marneurs à St-Antoine-la-Forêt.	St-Antoine-la-Forêt, 24 fév. 1874.	Sauvetage d'un ouvrier englouti dans une marnière. (Cacheleux est déjà titulaire d'une médaille de 2e classe.)
	5 septembre 1874.	
	ARIÈGE.	
DUQUERON (Célestin), chef mineur à Foix.	Bouychères, 9 févr. 1874.	A sauvé un ouvrier mineur sur le point d'être précipité dans une carrière.
	PAS-DE-CALAIS.	
MOSSE (Emile), surveillant boute-feux aux mines de Béthune; LANCIAUX (Alexandre), chef porion; RUFIER (Georges), FATOU (Louis-Charles), porions.	Mines de Béthune, 25 mars 1874.	Se sont distingués en travaillant au sauvetage des victimes d'une explosion de grisou.
	25 septembre 1874.	
	CORRÈZE.	
SERRE (Pierre), gendarme à la Comp. de la Corrèze.	Treignac, 31 juillet 1874.	S'est distingué en sauvant un ouvrier mineur.
	HÉRAULT.	
DURAND (Antoine), maçon à St-Félix-de-Lodez.	St-Félix-de-Lodez, 28 juill 1874.	Sauvetage de deux ouvriers mineurs sur le point d'être asphyxiés.
	LOIRE.	
PÉRISSEL, ingénieur divisionnaire de la concession de la Grand'Croix; COGNET, gouverneur; BLANCHON, ouv. mineur.	La Grand'-Croix, 3 mars 1874.	Ont fait preuve de dévouement pour sauver un ouvrier sur le point de périr asphyxié.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		16 octobre 1874.		
		NORD.	Classes.	
Desaubry (Jean-Bapt), ouv. mineur à Aniches.	Aniche, 2 juin 1874.	Sauvetage d'un homme tombé au fond d'un puits.		2e
		14 novembre 1874.		
		GARD.		
Malaville, maître mineur aux houillères de Lalle.	Lalle, 25 juin 1874.	A sauvé un ouvrier surpris par un éboulement. Déjà titulaire d'une médaille en argent de 1re classe.	2e	
		PAS-DE-CALAIS.		
Godefroy (Charles), machiniste aux mines de Bruay.	Bruay, 11 avril 1874.	A fait preuve d'énergie lors d'un accident qui pouvait coûter la vie à treize ouvriers.		2e
		25 janvier 1875.		
		GARD.		
Potu (Antoine), manœuvre à la concession houillre de Rochebelle et Cendras;	Rochebelle et Cendras, 19 août 1874.	Ont fait preuve de dévouement dans l'accident du puits Fontanes.	2e	
Gabriel (Clément), charpentier à la même concession.				2e
		20 février 1875.		
		LOIRE.		
Béraud (Bart.-Zach.), ouvrier aux mines de Beaubrun.	Mines de Beaubrun, 13 sept. 1874.	A sauvé un de ses camarades qui allait être asphyxié par les émanations de l'acide carbonique.		2e
		SAÔNE-ET-LOIRE.		
Kellerer (Étienne), ouv mineur à Milly.	Milly, 29 septemb. 1874.	A concouru au sauvetage de trois ouvriers ensevelis au fond d'une galerie par suite d'un éboulement.		2e
		20 avril 1875.		
		PAS-DE-CALAIS.		
Lecat (Constant), sous-dir. des travaux aux mines de Nœux.	Hersin, 1er fév. 1875.	A, par son énergie et son dévouement, sauvé la vie à de nombreux ouvriers.	2e	
Plumecoq (Augustin), maître porion aux mines de Nœux;	Id.	Se sont distingués dans l'incendie des mines de Nœux.		2e
Covillers (François), ouvrier mineur.				2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
	PUY-DE-DÔME.	
VIAL, ingén. aux mines de St-Eloi ; NÉNY, ouv. mineur ; CHARDONNET, ouv. min. (Lettre de félicitations). DESCORPS, ouv. mineur (Lettre de félicitations).	Mines de St-Eloi, 28 mai 1874.	Sauvetage d'un ouvrier *surpris* par un éboulement.
	25 juillet 1875. SEINE-INFÉRIEURE.	
HALIPRÉ (Jean-Bapt.), garde-mines à Rouen ; SCHEFFLER (André), garde-mines à Caen ; ROMAIN (Edmond), marneur à Vergetot ; DANIEL (Prosper), DANIEL (Jules), marneurs à Bréauté.	Cuverville, du 13 au 18 mars 1875.	Ont fait preuve de dévouement en opérant le sauvetage d'un ouvrier englouti dans une marnière. (M. Halipré est déjà titulaire d'une *méd.* d'argent de 2e classe.)
	2 décembre 1875. SEINE-INFÉRIEURE.	
NIBOUREL (Antoine), garde-mines à Rouen ; LAMOTTE fils (Alexdre), marneur à Bolbec.	Bolbec, 10 mars 1875.	Ont fait preuve d'un grand dévouement en travaillant au sauvetage d'un ouvrier enseveli dans une marnière. (M. Nibourel est déjà titulaire de deux méd. d'argent.)
	5 mars 1876. NIÈVRE.	
CHAMBREUX (Gabriel), ouv. mineur à Decize ; DALIGNY (Paul), aîné, DALIGNY (Paul), jeune, ouvriers mineurs.	Mine de Decize, 20 janvier 1876.	Ont sauvé un de leurs camarades surpris par un éboulement.
	8 avril 1876. ALLIER.	
DE GOUMOENS (Georg.) ingr divisionnaire à la mine de Commentry ; BALADIER (Jean), DUBREUIL (Jean), chefs mineurs ; GAUME (Pre), ouv. piqr. DURANTON (Louis), entrepreneur ; FAYOL (Pre), ouvr. ; CHARVILLAT (Jean), aide-chef mineur ; BARTOUX (Math.), mineur. } Lettres de félicitats.	Mine de Commentry, 31 août 1875.	Ont fait preuve de dévouement lors d'un accident survenu dans cette mine.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		19 novembre 1869.		
		HAUTE-SAÔNE.		Classe 1.
ILLEMEY (François), mît. min. aux houill^res de Ronchamp.	Ronchamp, 23 janvier 1869.	A sauvé deux mineurs descendus dans les galeries du puits Ste-Marie, où une explosion de gaz venait d'avoir lieu.		2e
		1er décembre 1869.		
		GARD.		
EYNARD (Eugène), ASMÉJAN (Bazile-Vr), ouv. mineurs à Portes.	Portes, 16 fév. 1869.	Se sont dévoués pour sauver un de leurs camarades surpris par un éboulement dans la mine des Bouziges.		2e 2e
		21 décembre 1869.		
		SEINE-INFÉRIEURE.		
LAMOTTE père (Alex.), mît. carrier à Bolbec ; NOURREL (Antoine), garde-mines à Rouen.	Languetot, 7, 8 et 9 mai 1869.	Ont puissamment concouru au sauvetage d'un ouvrier carrier enseveli sous un éboulement. (Lamotte a déjà obtenu deux médailles d'argent.)	2e	 2e
		26 janvier 1870.		
		MAINE-ET-LOIRE.		
DAVY (Louis-Paul), ingénieur ; BOURNANCÉ (François), maître charpentier ; VERDIER père (Franç.) ouvrier boiseur ; GAUDUCHON (Félix-Ls), MÉNARD (Julien), ouvriers mineurs ; CORNEBOIS (Cl.-Franç), inspecteur des travaux ; tous employés aux mines de Layon-et-Loire.	Chaude-fonds, 19 oct. 1869.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour porter secours à des ouvriers surpris par un incendie dans le puits des Malécots.		2e 2e 2e 2e 2e 2e
		PUY-DE-DÔME.		
COLLET (Sylvain), ouv. mineur à Brassac.	Brassac, sept. 1868.	A sauvé trois ouvriers mineurs précipités d'une benne dans l'eau d'un puits, par suite de la rupture des chaînes.		2e
		28 février 1870.		
		PUY-DE-DÔME.		
BARD (Antoine), ouv. mineur à Brassac.	Brassac, 28 août 1869.	Sauvetage d'un de ses camarades tombé dans un puits.		2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
		SEINE-INFÉRIEURE (*suite*).
LEPRÉVOTS (Irénée), marneur à Bordeaux-St-Clair ; LEFEBVRE (Louis), maît. marn. à Bréauté.	Criquetot-l'Esneval, avril 1876.	Ont couru de graves dangers en travaillant dans le puits éboulé. (Lefebvre est déjà titulaire de la médaille d'argent de 2e classe.)
GERVAIS (Valentin), FLEURY (Anthime), marneurs à Bréauté.	Id.	Ont exposé leur vie en participant comme piqueurs, aux travaux de sauvetage.
		15 février 1877.
		GARD.
VIDAL (Richard), ouv. aux min. de Trélys et Palmesalade.	Alais, 17 juillet 1876.	A essayé de sauver un ouvrier enseveli sous un éboulement et qui n'a pu être rappelé à la vie.
		24 juin 1877.
		AVEYRON.
TASTAYRE, ch. de poste aux mines de plomb de la Baume ; MUSSAT, géomètre.	La Baume, 4 sept. 1876.	Ont porté secours à deux de leurs camarades tombés asphyxiés dans une galerie.
Mentions honorables. TOULOUZE, aide-géomètre; PAYRE, MARTRES (Prosper), NUC, LAGRIFOUILLE, MARTRES (Pierre), ouvriers mineurs.	Id.	Ont fait preuve de dévouement dans la même circonstance.
		CANTAL.
LAFONT (Jacques), DUMAS (Antoine), MOREAU (Pierre), mineurs aux mines de houille de Champagnac.	Mine de Lempret, 10 nov. 1876.	Ont sauvé un ouvrier sur le point d'être asphyxié.
		MORBIHAN.
MACÉ (François), DESGRÉE (Yves Marie), contre-maîtres à l'ardoisre de Guenfol.	Guenfol, 28 oct. 1876.	Ont sauvé plusieurs ouvriers surpris par un éboulement. (Macé est déjà titulaire de la méd. d'argent de 2e classe.)

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.	Médailles en or.	Médailles en argent.
		PYRÉNÉES-ORIENTALES.	Classes.	
DELENNE, maît. mineur à Vernet.	Mine de fer de Vernet, 20 août 1875.	A sauvé deux ouvriers mineurs dans une galerie pleine de fumée et de gaz délétères.		2e
PARENT (Michel), ouv. mineur à Vernet (Mention honorable).	Id.	A fait preuve de dévouement dans la même circonstance.		
		SEINE-INFÉRIEURE.		
HOULBRÈGUE (Pierre), THÉNARD (Elphèze) (Mention honorable), ouvriers aux mines de Sanvic.	Sanvic, 12 janvier 1877	Ont travaillé au sauvetage d'un ouvrier surpris par un éboulement.		2e
		26 septembre 1877.		
		HÉRAULT.		
NOYER, géomètre-chef aux mines de Graissessac;	Mines de Graissessac, puits Ste-Barbe, 14 fév. 1877.	Ont coopéré au sauvetage des victimes ensevelies dans ce puits, lors d'une explosion de grisou.	2e	
VERGNE,			2e	
CANNAC, maîtres mineurs;				1re
CHABBERT (Simon), chef de poste;				1re
RASSIER (Baptiste), mineur;				1re
VERNHES, maître mineur chef;				2e
FORESTIER (Etienne),				2e
ANDRÉ (Pierre),				2e
CASSIS (Casimir), mineurs.				2e
		10 novembre 1877.		
		ALLIER.		
THÉVENET,	Mines de Bézenet, 23 mai 1877.	Ont, malgré les gaz méphitiques, porté secours aux victimes d'une explosion.		2e
TRONCHON,				2e
AUBEL, ouv. mineurs à Bézenet.				2e
		9 mars 1878.		
		AVEYRON.		
LAMIE (Ant.-Joseph), ouvrier mineur à la mine St-Eugène des houillres de Firmy; AURÉJAC (Jean-Ant.), maître mineur, id. (Mention honorable).	Firmy, 24 juillet 1877.	Ont porté secours à des ouvriers dont les galeries avaient été envahies par les eaux d'une pluie d'orage.		2e

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE DES FAITS.
10 juin 1878.		
LOIRE.		
DANTONY (Jacques), sous-gouv. aux mines de Beaubrun.	Beaubrun, 19 janvier 1878.	A porté secours à deux ouvriers surpris par un éboulement et sauvé l'un d'eux.
14 août 1878.		
LOIRE.		
TARDIVAT, ingénieur des mines de Firminy et Roche-la-Molière.	Firminy et Roche-la-Molière, 8 mai 1877.	A dirigé les travaux de sauvetage de trois ouvriers emprisonnés par une inondation au fond de la mine.
15 novembre 1878.		
SEINE-INFÉRIEURE.		
THUNE (Jules), marneur à Yébleron.	Bolbec, 14 mai 1878.	A sauvé, au péril de sa vie, un jeune homme tombé dans un puits de carrière.
5 décembre 1878.		
GIRONDE.		
JOUSSAUME (François), soldat au 3e régiment d'infanterie de marine.	Roque-brune, 21 7bre 1878.	S'est dévoué pour sauver un ouv. carrier sur le point d'être victime d'une explosion de mine.
PAS-DE-CALAIS.		
FONTAINE (Joachim), chef porion aux houillres de Liévin, mines d'Anzin.	Auchy-au-Bois et Liévin, 1842-1875.	A contribué, en diverses circonstances, au sauvetage d'ouvriers dont l'existence était mise en péril par des accidents de mine.
4 février 1879.		
PAS-DE-CALAIS.		
DELATTRE (Joseph), manouvrier à Desvres; LAMBERT (Louis), garde champ. à Desvres.	Desvres, 8 juillet 1878.	Se sont dévoués pour porter secours à deux ouvriers ensevelis, dans une carrière, sous un éboulement de sable.
5 mai 1879.		
GARD.		
PAGÈS (Pierre-Frédér.) maître maçon à Alais.	28 janvier 1876. 28 septemb. 1878.	S'est distingué en retirant du fond d'un puits deux ouvriers surpris par une explosion de mine, et en arrêtant un cheval emporté attelé à une charrette dans laquelle se trouvaient deux personnes.

DROITS D'ENTRÉE.

Régime fiscal actuellement existant, à l'entrée de différents pays, pour les minerais, les métaux communs non ouvrés (fer et acier, cuivre, étain, plomb, zinc) et la houille (*).

I. — FER ET ACIER.

FRANCE.

Minerai		exempt
Fonte.	brute, en masse, et fonte moulée pour lest de navires	2,00
	épurée, dite *mazée*	2,75
Fer étiré.	en barres carrées, rondes ou plates; Fers d'angle et à T; Fer feuillard en bandes, de plus de 0m,001 d'épaisseur	6,00
	Fer feuillard en bandes, de 0m,001 d'épaisseur ou moins	7,50
	Rails de toutes formes et dimensions	6,00
Fer brut en massiaux ou prismes retenant encore des scories		4,50
Tôles.	laminées ou martelées, planes, de plus de 0m,001 d'épaisseur, non découpées	7,50
	laminées ou martelées, découpées d'une façon quelconque	8,25
	minces, et fers noirs en feuilles planes, de 0m,001 d'épaisseur ou moins, non découpées	10,00
	minces, et fers noirs en feuilles planes, de 0m,001 d'épaisseur ou moins, découpées d'une façon quelconque	11,00
Fer étamé (fer-blanc), cuivré, zingué ou plombé		13,00
Fils de fer, qu'ils soient ou non étamés, cuivrés, zingués	de 5/10 de millimètre de diamètre ou moins	10,00
	autres	6,00
Acier.	Autre de toute espèce et feuillard	9,00
	en tôle ou en bandes, brunes, laminées à chaud, ayant d'épaisseur plus de 1/2 millimètre	9,00
	en tôle ou en bandes, brunes, laminées à chaud, ayant d'épaisseur 1/2 millimètre ou moins; blanches, laminées à froid, quelle que soit l'épaisseur	15,00
	filé, même blanchi, pour cordes d'instrument	20,00
Limailles et pailles		exemptes
Ferrailles, débris de vieux ouvrages en fer		2,90
— — en fonte		2,75
Mâchefer et scories de forges		exempts

(*) L'*unité* à laquelle s'appliquent les droits d'importation est le *quintal métrique*, toutes les fois qu'il n'y a point une indication contraire.

N. B. — Pour la France, ces droits sont ceux qui résultent du tarif conventionnel; ils comprennent les *décimes*.

AUTRICHE.

a. Fer brut (fonte), fers vieux en morceaux, débris de fer, acier vieux en morceaux et déchets d'acier.

NOTA. — Les limailles et pailles sont exemptes.

b. Fer en loupes (en massiaux, en prismes), fer puddlé préparé pour le laminage (*millbars*), lingots d'acier (acier fondu en masses brutes).

c. 1. Fer affiné, c'est-à-dire forgé et laminé, en barres non façonnées.

2. Rails, fer en grosses pièces, forgées grossièrement pour parties de voitures et de machines (essieux, volants), en tant que chacune desdites pièces pèse 25 kilogrammes ou plus; tuyaux en fer forgé, y compris les parties destinées à les réunir.

3. Acier brut et de cémentation fondu et affiné, non façonné.

d. Fer et acier affinés, en barres façonnées, c'est-à-dire en une forme préparée d'avance pour certains usages, fers d'angle et cornières, fer pour bandes de roues (*tyres*), lames de soc de charrue, ancres chaînes d'ancre et chaînes de navire.

e. Tôle de fer noire, même dressée en pièces creuses et forée; tôle d'acier brute, fer de tréfilerie, acier filé non poli, plaques de fer et d'acier brutes, non polies.

f. Tôle et plaques de fer polies, vernies au vernis commun ou fin, recouvertes de cuivre, d'étain (fer-blanc), de zinc ou de plomb; tôle et plaques d'acier polies; fer de tréfilerie, recouvert de cuivre, de zinc, d'étain ou de plomb; fil d'acier poli; cordes en acier pour instruments de musique.

BELGIQUE.

Minerais de toute sorte.
Fonte brute et vieux fer.
Fer battu, étiré ou laminé.
Acier fondu, brut.
Acier en barres, feuilles ou fils.
Fer-blanc, non ouvré.

ESPAGNE.

Fonte en gueuses et vieux fer.
Fer et acier en rails.
Fer et acier en plaques de $0^m,006$ de grosseur et au-dessus.
Fer et acier en barres de toute forme et en plaques jusqu'à $0^m,006$ de grosseur.
Fer de tréfilerie ou fil de fer.
Fer-blanc en feuilles.

ÉTATS-UNIS (*).

FONTE.

En gueuses.
Vieille.

(*) L'unité est la *tonne métrique*.

		fr.
Fer vieux, propre seulement à être retravaillé.		41,44

Fer laminé ou forgé.

Barres plates (*flats*) de 1 pouce au moins et 6 pouces au plus (0m,025 à 0m,150) de largeur, sur au moins 3/8 de pouce et pas plus de 2 pouces (0m,010 à 0m,050) d'épaisseur; les barres rondes de 3/4 de pouce au moins et 2 pouces au plus (0m,019 à 0m,050) de diamètre. Barres carrées n'ayant pas moins de 3/4 de pouce ni plus de 2 pouces (0m,019 à 0m,050) de côté.	au kilogramme.	0,11
Barres plates au-dessous de 3/8 de pouce ou au-dessus de 2 pouces (0m,010 à 0m,050) d'épaisseur, ou au-dessus de 1 pouce et au-dessous de 6 pouces (0m,025 à 0m,150) de largeur.	*idem.*	0,17
Barres rondes ayant en diamètre moins de 3/4 de pouce (0m,019) ou plus de 2 pouces (0,m050); barres carrées ayant de côté moins de 3/4 de pouce (0m,019) et plus de 2 pouces (0m,050).	*idem.*	0,17

N. B. — Le fer en plaques, massiaux et sous toute forme moins avancée que le fer en barres et plus avancée que la fonte, sauf toutefois les moulages, sera considéré comme fer en barres et traité en conséquence, mais aucun de ces fers n'acquittera de droit à la valeur inférieur à 35 p. 100.

Fer du Canada (même régime que les autres fers).

TÔLES DE CHAUDIÈRES ET AUTRES.

Ayant au moins 3/16 de pouce (4,7 millim.) d'épaisseur.	*idem.*	0,17
Autres non dénommées.	à la tonne.	129,50
Polies ou unies, quel que soit le nom sous lequel on les désigne,	au kilog.	0,34

Tôles ordinaires noires.

Non au-dessous du n° 20 de tréfilerie.	*idem.*	0,14
Au-dessous du n° 20 et pas au-dessous du n° 25.	*idem.*	0,17
Au-dessous du n° 25.	*idem.*	0,20

FER A BANDES ET A CERCLES.

Ayant en largeur 1/2 pouce à 6 pouces (0m.012 à 0m,150) et en épaisseur pas moins de 1/8 de pouce (3,17 millim.).	*idem.*	0,14
Ayant en largeur 1/2 pouce à 6 pouces et moins de 1/8 de pouce d'épaisseur et pas au dessous du n° 20 de tréfilerie.	*idem.*	0,17
Au-dessous du n° 20 de tréfilerie.	*idem.*	0,20
Fer de fenderie.	*idem.*	0,17
Fer forgé ou laminé non dénommé.	*idem.*	0,14

ACIER EN LINGOTS, BARRES, TÔLES.

Valant 7 *cents* la livre et moins (0f,80 le kilog.).	*idem.*	0,26
Valant plus de 7 *cents* et moins de 11 *cents* la livre (1f,26 le kilog.).	*idem.*	0,34
Valant plus de 11 *cents* la livre.	*idem.*	0,40
Fer-blanc.	à la valeur.	15 p. 100

GRÈCE.

Fonte de fer.	exempte
	fr.
Fer non ouvré de toute provenance, en lames grandes ou petites, en verges, en barres carrées.	1,56

Fer non ouvré en cercles de toute dimension, aplatis, laminés. — tôle de toute espèce. . . . .
Fer non ouvré en couronnes ou en ressorts pour les meubles en génér.
— — cordes métalliques blanches pour instruments, etc. . . . .
Acier en barres. . . . .
— en feuilles. . . . .
— pour crinolines et briquets. . . . .

ITALIE.

FONTE.

a. En gueuses. . . . .
b. Ouvrée, en articles bruts. . . . .
c. Ouvrée, en articles polis, tournés, étamés, émaillés ou vernis, et même garnis d'autres métaux. . . . .
Fer brut, en massiaux, et aciers en pains. . . . .

FER.

a. Laminé ou martelé (verges de plus de 5 millim. de diamètre et barres de toutes dimensions). . . . .
b. En verges (y compris les fils) de 5 millim. ou moins de diamètre ou de côté. . . . .
La lettre *b* comprend les verges rectangulaires, carrées, hexagones, octogones et les similaires.
c. En plaques de 4 millim. d'épaisseur ou plus. . . . .
d. En plaques au-dessous de 4 millim. d'épaisseur et même en tuyaux. .
Forgé en ancres, essieux de voitures, enclumes et autres ouvrages bruts. . . . .
Fer et acier en rails pour chemins de fer. . . . .
(Ne sont admis comme rails que les fers de la coupe adoptée pour les chemins de fer publics.)

FER ET ACIER DE SECONDE FABRICATION (OUVRAGES EN FER)

a. Simples. . . . .
b. Garnis d'autres métaux. . . . .

FER-BLANC RECOUVERT D'ÉTAIN, DE ZINC OU DE PLOMB.

a. Non ouvré. . . . .
b. Ouvré, même avec garniture d'autres métaux. . . . .

PORTUGAL.

Minerais de toute sorte. . . . .
Fer, fonte brute. . . . . à la valeur.
— forgé. . . . . *idem*. . .
— mitraille. . . . .
— platiné ou laminé simple. . . . . *idem*. . .
Fer platiné ou laminé, étamé. . . . . au kilogramme. .
— — galvanisé ou zingué. . . . . . *idem*. . . .
— de tréfilerie, simple. . . . . *idem*. . . .

(621)

		fr.
Acier en barres	au kilogramme. .	0,02
— filé	*idem.*	0,31
— laminé, ressorts de voitures	*idem.*	0,16
— — non dénommé	*idem.*	0,94

RUSSIE.

Fonte brute en masses et en débris de vieux ouvrages	1,22
Fer en barres, fer façonné et laminé de toute sorte, ayant en largeur ou diamètre de 0m,006 à 0m,178; débris de vieux ouvrages en fer	8,55
Tôle de fer pour blindage, chaudières; feuilles de fer et fer de toute espèce, ayant plus de 0m,178 d'épaisseur ou de diamètre	12,21
Rails de fer	4,88
Fer-blanc en feuilles, verni et non verni; tôle de fer de toute sorte, zinguée, cuivrée ou recouverte d'autres métaux	30,52
Acier non ouvré	19,53

SUISSE.

Minerais, galène	au collier.	0,15
— manganèse (oxyde de fer)		0 60
— autres		0,15
Fer et acier bruts, en gueuses, fer brut affiné, fer et tôle de fer ne rentrant pas dans la catégorie ci-après		0,60
Fer et acier forgés, étirés, laminés, façonnés; fer en barres carrées présentant une coupe transversale de moins de 0mq,0036; fer rond de moins de 0m,075 de diamètre; fer effilé, fer en bandes; fer plat jusqu'à 0m,6 de largeur et au-dessous de 0mq,0036 de coupe transversale; fer pour roues		2,00

TURQUIE.

Minerais et métaux communs de toute sorte	à la valeur.	8 p. 100

En ALLEMAGNE, ANGLETERRE, NORVÉGE, et dans les PAYS-BAS, exemption de droits.

II. — CUIVRE.

FRANCE.

Minerai		exempt
Cuivre pur ou allié de zinc ou d'étain	de première fusion, en masses, barres, saumons ou plaques	exempt
	laminé ou battu, en barres ou en planches	10,00
	en fils de toute dimension, polis ou non, autres que dorés ou argentés	10,00
Doré ou argenté, en masse ou lingots, battu, tiré, laminé ou filé sur fils ou sur soie		100,00
Limailles et débris de vieux ouvrages		exempts

ALLEMAGNE.

Minerai	exempt
Cuivre brut ou vieux, en morceaux	id.

Cuivre forgé ou laminé, en barres ou en feuilles. . . . .
— filé. . . . .
— en feuilles ou en fils plaqués. . . . .

AUTRICHE.

Minerai. . . . .

CUIVRE ROUGE ET JAUNE.

Brut, en saumons, lamelles, pains, blocs et vieux en morceaux. . . . .
Coulé en grosses pièces, telles que cloches, conduits, tuyaux pesant plus de 5 kilog., ou en autres articles pesant, la pièce, plus de 10 kilog. . .
Laminé, étiré, en barres, en tables, en feuilles, filé et en cordes pour instruments de musique. . . . .

BELGIQUE.

Non ouvré. . . . .

ESPAGNE.

Minerai. . . . . à la tonne métrique.

CUIVRE ET LAITON.

De première fusion et cuivre vieux. . . . .
En barres et lingots, et laiton vieux. . . . .
En feuilles, en clous et fils. . . . .
En tuyaux, en grandes pièces à demi-confectionnées. . . . .
Fil de laiton. . . . .
Bronze non ouvré. . . . .

ÉTATS-UNIS.

Minerai, en raison de sa teneur en cuivre fin. . . . . . . au kilogramme.
Régule, cuivre noir, cuivre impur, en raison de sa teneur en cuivre fin. . . . . *idem.*
Vieux cuivre bon seulement à la refonte. . . . . *idem.*
Cuivre en plaques, barres, lingots et sous autre forme, non ouvré et non dénommé. . . . . *idem.*
Laminé, cuivre de chaudronnerie, tôles, verges, tuyaux, fonds de chaudière et autres articles dont le cuivre constitue l'élément prédominant non dénommés. . . . . *à la valeur.*
Bronze en barres ou saumons, et vieux bronze propre seulement à la refonte. . . . . *idem.*
Clinquant et bronze en feuilles. . . . . *idem.*

GRÈCE.

Vieux, en pièces ou en objets détruits. . . . .
Laminé, en barres ou planches, en fond de chaudière. . . . .
Ébauché. . . . .

ITALIE.

Minerai. . . . .

CUIVRE, LAITON ET BRONZE.

	fr.
a. En pains, rosettes, limaille et débris	4,00
b. En barres, en feuilles, en plaques ou en tuyaux	10,00
c. En fils de moins de 2 millim. de grosseur	15,00
d. Martelés en ouvrages bruts	15,00
e. En autres ouvrages	25,00
f. En barres, en fils dorés ou argentés	100,00
g. Dorés ou argentés, enroulés sur fils de matière textile	100,00
h. Dorés ou argentés en autres ouvrages	120,00

PORTUGAL.

Brut et mitraille		exempts
De première fusion	au kilogramme.	0,006
Battu et laminé, bassins non terminés	*idem*.	0,12
— — non dénommé	*idem*.	0,01
Filé simple	*idem*.	0,31

RUSSIE.

Minerai	exempt
Cuivre non ouvré	14,65

SUISSE.

Non ouvré	3,00

TURQUIE.

Minerais et métaux communs de toute sorte	à la valeur.	8 p. 100

En Angleterre, en Norvége et dans les Pays-Bas, exemption de droits.

III. — ÉTAIN.

FRANCE.

Minerai	exempt
Étain en masses brutes, saumons, barres ou plaques	id.
Allié d'antimoine (métal britannique en lingots)	5,00
Pur ou allié, battu ou laminé	6,00
Limailles et débris de vieux ouvrages	exempts

AUTRICHE.

Minerai	exempt
	fr.
Étain laminé, étiré (en barres, plaques, feuilles et filé), coulé brut, c'est-à-dire sans autre main-d'œuvre	10,00

ESPAGNE.

Minerai	à la tonne métrique	0,25
Étain en lingots		12,50

ÉTATS-UNIS.

En feuilles	à la valeur	15 p. 1
Nickel	au kilogramme	[illegible]
Oxyde de nickel et alliage de nickel et de cuivre	*idem*	[illegible]
Argentan	à la valeur	[illegible] p. 1

GRÈCE.

Étain non ouvré	[illegible]

ITALIE.

Minerai	exemp

ÉTAIN ET SES ALLIAGES AVEC LE PLOMB ET L'ANTIMOINE.

a. En pains, en verges et en débris	[illegible]
b. Battu, en feuilles de toute sorte	[illegible]
c. En autres ouvrages	[illegible]

PORTUGAL.

Étain de première fusion	au kilogramme	[illegible]
— battu ou laminé	*idem*	[illegible]
— en objets brisés		exemp.

RUSSIE.

Minerai	exemp
Étain non ouvré	[illegible]

SUISSE.

Étain brut, en barres ou plaques	1,50
— laminé ou martelé	3,00

TURQUIE.

Minerais et métaux de toute sorte	à la valeur	8 p. 10

En Allemagne, Angleterre, Belgique, Norvège et dans les Pays-Bas, *exemption de* droits.

IV. — PLOMB.

FRANCE.

Minerai et scories de toute sorte	exempts
Plomb en masses brutes, saumons, barres ou plaques	id.
Allié d'antimoine en masses	3,00
Battu ou laminé	3,00
Limailles et débris de vieux ouvrages	exempts

AUTRICHE.

Minerai		exempt
Plomb brut, en masses, saumons, et vieux en morceaux		2,50
Coulé en vases, tuyaux, conduits, plaques, balles et grenaille à gibier		11,25

ESPAGNE.

Minerai	à la tonne métrique.	0,25
Plomb en feuilles, masses, tuyaux, etc.		1,60

ÉTATS-UNIS.

Minerai	au kilogramme.	0,17
En feuilles, tuyaux et balles	*idem*	0,31
Plomb en barres et saumons	*idem*	0,23
Débris propres seulement à la refonte	*idem*	0,17

GRÈCE.

Plomb brut, en lames ou en saumons		4,69
— en rouleaux, en tuyaux ou en grenaille		7,81

ITALIE.

Minerai		exempt

PLOMB ET SES ALLIAGES AVEC L'ANTIMOINE.

a. En pains et en débris		0,50
b. Battu, en feuilles et en tuyaux		3,00
c. En caractères d'imprimerie		5,00
d. En autres ouvrages (y compris les balles et le plomb de chasse)		5,00

PORTUGAL.

Plomb brut, en saumons, etc.	au kilogramme.	0,02
— mitraille		exempte
— battu et laminé	*idem*	0 02

RUSSIE.

Minerai		exempt
Plomb non ouvré		1,22

SUISSE.

Matte de plomb		1,50
Plomb brut, en saumons, barres ou plaques		0,60
— laminé, en feuilles, en tuyaux ; balles et grenaille		1,50

TURQUIE.

Minerais et métaux communs de toute sorte	à la valeur.	8 p. 100

En ALLEMAGNE, ANGLETERRE, BELGIQUE, NORVÉGE et dans les PAYS-BAS, exemption de droits.

V. — ZINC.

FRANCE.

Minerai cru ou grillé, pulvérisé ou non.	[illegible]
Zinc en masses brutes, saumons, barres ou plaques.	[illegible]
Laminé.	[illegible]
Limailles et débris de vieux ouvrages.	[illegible]

AUTRICHE

Minerai.	[illegible]
Zinc en barres, plaques et feuilles.	[illegible]
Filé. en tuyaux et conduits, coulé brut.	[illegible]

ESPAGNE.

Minerai.	à la tonne métrique.	[illegible]
Zinc en barres, en lingots ou en masses.		[illegible]
Laminé, en feuilles, en clous, en fil.		[illegible]

ÉTATS-UNIS.

Zinc, zinc impur, toutenague, en pains et saumons.	au kilogramme.	[illegible]
En feuilles.	*idem.*	[illegible]
Métaux bruts non dénommés.	à la valeur.	[illegible] p. [illegible]

GRÈCE.

Zinc brut, laminé ou en feuilles.	[illegible]

ITALIE.

Minerai.	*exempt*
a. En pains et débris.	1.00
b. En planches et en feuilles.	4.00
c. En autres ouvrages non dorés.	12.00
d. En autres ouvrages dorés.	58.00
Antimoine et arsenic à l'état métallique.	1.00
Mercure.	10.00

MÉTAUX ET ALLIAGES MÉTALLIQUES NON DÉNOMMÉS.

a. A l'état brut.	5.00
b. En ouvrages de toute sorte.	100.00

PORTUGAL.

Zinc de première fusion et objets détruits.		exempts
— battu et laminé.	au kilog.	0.06

RUSSIE.

Minerai.	exempt

		fr.
en blocs		7,33
uilles		14,65

SUISSE.

non ouvré		1,50

TURQUIE.

erais et métaux communs de toute sorte	à la valeur.	8 p. 100

En Allemagne, Angleterre, Norvége et dans les Pays-Bas, exemption de droits.

VI. — COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

FRANCE.

Houille crue ou carbonisée (coke)		0,12

ESPAGNE.

Houille et coke	à la tonne métrique.	2,50

ÉTATS-UNIS.

Coke	à la valeur.	25 p. 10
Anthracite		exempte
Houille pouvant passer au travers d'un crible d'un demi-pouce (12 millimètres 7/10)	à la tonne métrique.	2,05
Houilles et schiste bitumineux	*idem*.	3,85

SUISSE.

		fr
Houilles	au collier.	0,15

TURQUIE.

Houilles	à la valeur.	8 p. 100

En Allemagne, Angleterre, Autriche, Belgique, Grèce, Italie, Norvége, Pays-Bas, Portugal et Russie, exemption de droits.

SUR UNE NOUVELLE MÉTHODE POUR DISTINGUER ENTRE EUX LES DIVERS FELDSPATHS

Par M. le Dr JOSEPH SZABO, professeur à l'Université de Budapest (*).

(Extrait par l'auteur.)

Les caractères utilisés par l'auteur pour distinguer entre eux les divers feldsphaths sont souvent empruntés à la fusibilité et à la coloration de flammes.

1° *Fusibilité.* — On se sert d'un bec de Bunsen, à cheminée mobile. Une parcelle du minéral, dont la dimension n'excède pas 1 millimètre dans deux directions et 1/2 millimètre dans la troisième, est mouillée par de l'eau distillée qui la fait adhérer à un petit fil de platine soudé à de petits tubes de verre. Le fil de platine doit être très-fin, et tel que le poids d'un décimètre de longueur ne dépasse pas $0^{gr},032$.

La substance est d'abord placée à la partie inférieure de la flamme, dépourvue de cheminée, à 5 millimètres au plus de la base; au bout d'une minute on la retire et l'on observe à la loupe l'altération produite. Puis on recouvre la flamme avec la cheminée, et l'on introduit la substance dans la partie moyenne de la flamme. Au bout d'une minute on examine encore à la loupe l'altération produite par cette température plus élevée que la première.

L'auteur distingue 8 degrés de fusibilité :

0. — Minéral inaltérable dans la 1re et la 2e expérience. — Quartz, Spinelle (Ceylan), Cassitérite (Cornouailles), Haussmannite (Ilmenau), quelques anorthites.

1. — (I, 0; II, 1). 1re expérience, pas d'altération; 2e expérience, arêtes et angles commençant à s'arrondir. — Bronzite, Hématite, Anorthite (Somma), Pyroxène (Monti Rossi).

2. — (I, 0-1; II, 2). 1re expérience, altération visible sur les angles ou les arêtes; 2e expérience, les faces commencent à s'arrondir, mais la forme générale est conservée. — La plupart des diallages; quelques anorthites.

3. — (I, 1-2; II, 3). 1re expérience, fusibilité sur les arêtes, quelquefois même sur les faces; 2e expérience, la forme générale commence à s'arrondir sans devenir parfaitement sphérique. — Adulaire (Saint-Gothard), Labrador, Magnétite.

4. — (I, 1-3; II, 4). 1re expérience, la forme commence à devenir globulaire; 2e expérience, bouton parfaitement sphérique. — Quelques hypersthènes, quelques amphiboles, quelques pyroxènes et quelques andésines.

(*) Publié en hongrois par l'Académie hongroise des sciences (1873), et en allemand (1876).

5. — (I, 4; II, 5). Dans la 1re expérience on arrive déjà au résultat définitif, c'est-à-dire à la forme sphérique. — Pétalite, quelques albites, oligoclase, quelques grenats (dans les trachytes de Hongrie),

6. — Le bouton devient sphérique à la base de la flamme avant d'avoir atteint la température du rouge, ou bien le globule se forme dans la 1re expérience en une demi-minute. — Cryolite, Borax.

7. — Le minéral devient globuleux en le plaçant près de la flamme sans l'y introduire, et sans devenir rouge. — Stibine, Ozocérite, Soufre.

Pour représenter les expériences faites sur la fusibilité, on se sert des nombres marqués ci-dessus et correspondant à chacun des 8 degrés. On exprime les résultats douteux au moyen des deux nombres entre lesquels l'hésitation a lieu.

Outre le degré de fusibilité, il est essentiel de noter la *nature* de la fusion. C'est ainsi que la moindre trace de boursouflement suffirait pour affirmer que le minéral n'est pas un feldspath. On peut aussi de cette façon reconnaître des mélanges. Si le bouton d'un oligoclase montre après la première expérience des particules anguleuses transparentes, on en conclura qu'il y a une inclusion de quartz. Si l'on remarque dans la première expérience de petits globules noirs fondus sur l'anorthite infusible, on en conclura qu'un peu de pyroxène était mélangé au feldspath.

On étudie la *coloration* de la flamme dans les mêmes expériences que celles qui servent à fixer la fusibilité. La coloration en jaune est constante, car il n'y a pas de feldspath qui ne contienne du sodium; mais il y a des degrés qui sont indiqués par la hauteur, la largeur et l'intensité de la langue jaune.

L'auteur distingue 5 degrés :

Le 1er degré	correspond	de 0,1 à 1 %	de Na^2O.
Le 2e	—	de 1 à 2	—
Le 3e	—	de 2 à 4	—
Le 4e	—	de 4 à 8	—
Le 5e	—	de 8 à 16	—

Pour constater la présence du potassium, dont la couleur est toujours masquée par la couleur jaune plus intense du sodium, on intercepte les rayons jaunes par une solution d'indigo dans l'acide sulfurique concentré. La solution, placée dans un flacon rectangulaire d'environ 3 centimètres d'épaisseur, est diluée jusqu'à ce qu'elle permette de distinguer le bout d'un fil de platine placé dans la partie la plus chaude de la flamme. On peut aussi se servir d'un verre bleu, mais la solution est plus sensible.

C'est un fait très important que le potassium combiné à la silice dans les feldspaths et les feldspathides n'est pas visible sans addition de gypse, si la proportion en est moindre de 4 p. 100. Lorsque la

proportion est plus forte, la présence du potassium est cons[tatée] dans les expériences sur la fusibilité.

Pour compléter les données que peut fournir la coloration de la flamme, il faut donc, en général, faire une troisième expérience qui consiste à fondre, avec du gypse, le même bouton qui provient des expériences de la fusibilité. Ce bouton est, à cet effet, mouillé d'eau distillée, et mis en contact avec du gypse en poudre. En maintenant le bouton pendant deux minutes dans la partie la plus chaude de la flamme, on volatilise les alcalis à l'état de sulfates, et la moindre trace de potassium devient visible.

Dans les expériences de fusibilité, l'auteur indique 3 degrés de coloration de la flamme :

Le 1[er] degré	correspond	de 4 à 10 °/₀	de K^2O.
Le 2[e]	—	de 10 à 13	—
Le 3[e]	—	de 13 à 20	—

Dans la troisième expérience avec addition de gypse, l'auteur distingue 4 degrés :

Le 1[er] degré	correspond	de 0,1 à 1 °/₀	de K^2O.
Le 2[e]	—	de 1 à 4	—
Le 3[e]	—	de 4 à 13	—
Le 4[e]	—	de 13 à 22	—

Le 1[er] et le 2[e] degré indiquent un plagioclase potassique; le 3[e] et le 4[e], une orthose.

Il ne reste plus qu'à montrer comment les observations précédentes permettent de caractériser chaque espèce feldspathique.

Orthose. — Le caractère principal est la présence du potassium en proportion telle que la flamme rouge devient visible dans la première expérience. Une coloration très-faible peut échapper à un œil inaccoutumé, mais la troisième expérience lève tous les doutes.

Il est à remarquer que la nature de la fusion est caractéristique pour les orthoses des granites, syénites, etc., qui contiennent pour la plupart un mélange d'orthose et de microcline. Dans la première et la deuxième expérience, le bouton devient en effet bulleux, non-seulement dans l'intérieur, mais aussi sur la surface extérieure. L'orthose des trachytes (sanidine) ne montre jamais cette propriété; le bouton est simplement vitreux, sans bulles ou à peu près. Les feldspaths sodiques et calcaires sont souvent bulleux aussi dans la deuxième expérience, mais toujours dans l'intérieur, la surface extérieure restant unie.

Feldspaths sodifères. — Leur caractère distinctif est fourni par

la grande quantité de sodium, produisant le degré le plus intense de coloration jaune, et aussi par le plus grand degré de fusibilité qui puisse se rencontrer dans un feldspath (4-5). Comme caractère négatif, il faut ajouter l'absence de la coloration rouge par la potasse dans la première et la deuxième expérience.

Pour distinguer entre eux l'albite, l'oligoclase et l'andésine, les caractères sont plus tranchés; on y parvient cependant par des essais comparatifs. On introduit dans la flamme une albite ou une oligoclase, ou une andésine normales, et l'on place en regard le feldspath sodique que l'on étudie. Si le premier essai ne décide pas, on finira certainement, en le répétant, par constater la coïncidence ou la différence. Il est digne de remarque que l'albite isolée (Bourg-d'Oisans, Saint-Gothard, Schmirn, Pfitsch) n'accuse pas la moindre trace de potassium dans la troisième expérience; les autres albites en contiennent. L'auteur ne connaît pas une oligoclase ou une andésine sans potassium visible dans la troisième expérience.

Feldspaths calciques. — Le labrador et l'anorthite sont caractérisés par une quantité moindre de soude et une fusibilité plus faible. Pour le labrador, la nature de la fusion est souvent remarquable; il se forme un émail qui ne forme pas un bouton tout à fait sphérique. Ce caractère de la fusion dépend beaucoup de la grandeur du fragment; de sorte qu'un petit fragment de labrador pourrait être pris pour de l'andésine, et réciproquement, un fragment un peu plus gros d'andésine pour du labrador. Dans les cas douteux, on peut avoir recours à la voie humide.

L'anorthite est très-reconnaissable par sa très-faible fusibilité. Il y en a même qu'on peut considérer comme infusible (Somma, Corse, 0 — 1). Les traces de fusion visibles quelquefois sur les protubérances anguleuses donnent un verre transparent, et non un émail comme le labrador.

L'auteur ne connaît pas un labrador sans potassium; mais il y a quelques anorthites, rares, qui, même avec le gypse, ne donnent aucune coloration rouge.

Voie humide. — Pour distinguer les feldspaths entre eux, la voie sèche suffit. On peut cependant faire intervenir la voie humide dans le cas du labrador et de l'anorthite. Les feldspaths acides potassiques ou sodiques ne sont pas attaqués par l'acide chlorhydrique concentré, mais celui-ci en extrait cependant un peu de sodium, et l'acide, après l'attaque, donne à la flamme une coloration jaune qu'il ne produisait pas auparavant. Le labrador, et surtout l'anorthite, sont beaucoup plus fortement attaqués et l'acide

dissout une plus ou moins grande quantité des protoxydes q
renferment.

Pour faire l'attaque, on place quelques grains de feldspath d
un petit flacon à large ouverture bouché à l'émeri, et l'on v
dessus quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré. On la
agir l'acide pendant 24 heures dans le flacon bouché. Après
temps, on essaie la coloration de la flamme, en y introduisant
fil de platine trempé dans l'acide. On se sert d'un fil un peu g
(de la grosseur du fil de piano dans les hautes octaves). On tou
le bout du fil en double spirale, pour augmenter la quantité
liquide retenue.

La flamme est toujours colorée en jaune; mais la couleur
très-faible si le feldspath soumis à l'attaque est un feldspath al
sodique et potassique; elle commence à être plus vive si le fel
spath est de l'andésine; elle devient très-forte si l'on a affaire
labrador ou à l'anorthite.

Avec un fil fin, la volatilisation des chlorures serait très-rapi
mais l'emploi d'un gros fil la ralentit et il se produit deux ph
Dans la première, c'est le calcium (dont le chlorure est le moi
fixe) qui se volatilise tout entier en entraînant un peu de sodium
mais pas de potassium. Dans cette phase, le jaune du sodium
plus ou moins rougeâtre, et on peut le constater même à l'œ
nu. Mais il est préférable de se servir d'un spectroscope à visi
directe.

La volatilisation, d'abord très-rapide, subit un léger arrêt,
l'on observe la seconde phase, pendant laquelle la majeure part
du sodium se volatilise, entraînant d'abord le potassium, puis
dernier lieu le lithium dont la volatilisation dure même plus long
temps que celle du sodium. L'emploi de la solution d'indigo permet
de constater la couleur du potassium au milieu de la flamme jaune
du sodium. On peut aussi employer le spectroscope qui permet de
reconnaître facilement le lithium.

On répète ces essais plusieurs fois en plongeant la spirale dans
la solution. Il est commode d'avoir l'aide d'une seconde personne,
car la période de volatilisation du calcium apparaît vite et dure
peu de temps. Il convient donc d'appliquer l'œil au spectroscope
avant que la solution soit introduite dans la partie inférieure de la
flamme (sous cheminée). Avant de commencer l'essai, il faut se
convaincre qu'au fil de platine n'adhère pas de substance colo-
rant la flamme; à cet effet on l'expose à la plus haute tempéra-
ture, d'abord sec, puis mouillé d'acide chlorhydrique.

L'emploi de l'acide chlorhydrique est encore plus utile pour

reconnaître les feldspathides (amphigène, néphéline, noséane, haüyne, sodalithe) souvent associés aux feldspaths dans les roches volcaniques. Tous ces minéraux sont fortement attaqués par l'acide chlorhydrique, et la solution donne à la flamme des colorations tout à fait différentes de celles qui sont données par les solutions du labrador et de l'anorthite. On constate une grande quantité de potassium et de sodium, qui entrent bien dans la composition de l'orthose, de l'albite et de l'oligoclase, mais qui ne se dissolvent à peu près pas dans l'acide. Les essais par voie sèche feraient constater encore d'autres différences notables.

Le tableau ci-contre (p. 634) résume les observations précédentes et indique la marche de l'opération.

L'auteur recommande d'inscrire les résultats des observations dans un tableau analogue. Dès que toutes les colonnes du tableau sont remplies, on peut fixer le nom de l'espèce feldspathique. Si la substance ne peut être obtenue en quantité suffisante, si elle est dans un état de conservation imparfait, les résultats peuvent être douteux, mais il sera toujours possible de placer la substance inconnue entre deux espèces feldspathiques voisines.

Il est bon de ne pas se contenter d'un essai unique. On peut faire deux essais à la fois, en introduisant deux fils de platine dans deux parties opposées de la flamme. Les supports des fils sont placés sur une plaque de verre poli pour éviter les secousses qui pourraient faire tomber les fragments adhérant à l'anneau de platine.

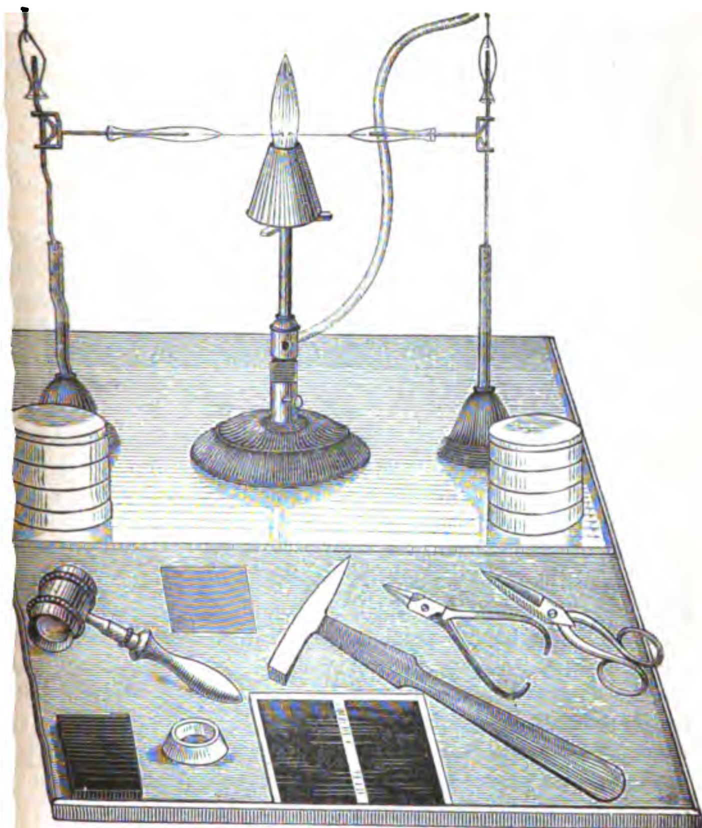
L'étude par la flamme du bec Bunsen peut être utile pour des minéraux autres que les feldspaths. C'est ainsi que, dans la famille des amphiboles et des pyroxènes, se trouvent des espèces contenant des alcalis et dont la fusibilité est comprise entre 1 et 5 comme celle des feldspaths. Les zéolithes peuvent aussi être très-convenablement classés par l'observation de la chaleur et de la flamme. Mais c'est pour les feldspaths que le procédé a été créé, et la distinction des feldspaths entre eux a la plus grande importance en lithologie, car l'association des diverses espèces de cette famille est, entre certaines limites, en rapport avec l'âge relatif des roches éruptives de la même catégorie.

La figure ci-jointe (p. 635) montre l'arrangement de l'outillage, qui est bien simple. On voit à droite et à gauche une pile de capsules en porcelaine, munies de couvercles. Dans une des capsules supérieures se trouve l'eau distillée; dans une autre, du gypse en poudre. Dans les capsules inférieures se placent les fragments du minéral à étudier. En avant est une plaque de verre au-dessous de laquelle se trouve du papier noir sur lequel on place le fragment

Tableau comparatif des propriétés caractéristiques pour les feldspaths. Procédé Szabó.

MINÉRAUX.	1re EXPÉRIENCE. Hauteur 5 millimètres. 1 minute. Na 1 — 5	K 1 — 3	Fusibilité. Degré 1 — 5	Fusibilité. Qualité.	2e EXPÉRIENCE. Région de fusion. 1 minute. Na 1 — 5	K 1 — 3	Fusibilité. Degré 1 — 5	Fusibilité. Qualité.	3e EXPÉR. avec gypse. 2 minutes. Na 1 — 5	K 1 — 4	OBSERVATIONS.
Orthose. . .	1 — 3	1 — 3	1 — 3	Transparent ou blanchâtre; bulleux	2 — 4	1 — 3	3 — 4	La surface souvent bulleuse.	2 — 4	3 — 4	*HCl* : Ca = 0; Na 1 — 2; K = 0.
Albite. . . .	5	0	3 — 4	Verre bulleux.	5	0	3 — 5	L'intérieur est bulleux.	5	0 — 1	*HCl* : Ca = 0; Na 1 — 2; K = 0.
Oligoclase. .	4 — 5	0	3 — 4	Verre ou émail bulleux.	4 — 5	0	4 — 5	Des bulles intérieures.	4 — 5	1 — 2	*HCl* : Ca = 0; Na 2; K = 0.
Andésine. . .	3 — 4	0	2 — 4	Verre ou émail bulleux.	3 — 4	0	3 — 5	Des bulles intérieures.	3 — 4	1 — 2	*HCl* : Ca = 0 — 1; Na 2 — 3; K = 0 — 1.
Labradorite.	2 — 3	0	1 — 2	Email.	2 — 3	0	2 — 3	Email.	3	1 — 2	*HCl* : Ca 1 — 2; Na 2 — 3; K = 0 — 1.
Anorthite . .	1 — 3	0	0 — 1	Infusible. . . .	1 — 3	0	0 — 2	Presque infusible.	1 — 3	0 — 1	*HCl* : Ca 2 — 3; Na 1 — 3; K = 0 — 1.
Amphigène .	2 — 3	3	1	Verre translucide.	2 — 3	3	2	Verre.	2 — 3	4	*HCl* : Ca = 0; Na 2 — 3; K 4.
Néphéline. .	5	1 — 3	2 — 3	Verre ou émail.	5	2 — 3	3 — 4	Verre bulleux.	5	3 — 4	*HCl* : Ca = 0; Na 5; K 3 — 4.
Noséane. . .	5	1	1	Vitreux, gris. .	5	1 — 2	2	Les arêtes translucides.	5	2 — 3	*HCl* : Ca = 0; Na 5; K 3.
Haüynite. . .	5	1 — 2	1	A peine altéré.	5	1 — 3	2 — 3	Vitreux.	5	3 — 3	*HCl* : Ca = 0 — 3; Na 5; K 1 [illegible]
Sodalithe . .	5	0 — 3	1 — 3	Vitreux, blanchâtre.	5	0 — 3	3 — 4	Bulleux.	4 — 5	3 — 3	*HCl* : Ca = 0 [illegible]; Na 5; K 1 [illegible]

ıéral pour bien examiner, à l'état naturel, avec une loupe ıgton, la grandeur, la forme, le clivage, les inclusions, la ır et l'état de conservation.



La petite pince est destinée à former l'anneau au bout du fil de platine. Deux essais pourront être faits successivement en 12 minutes.

LE PUITS ARTÉSIEN DE BUDA-PESTH.

Il vient d'être fait à Pesth un forage artésien dont il paraît intéressant de signaler les résultats. Commencé le 15 novembre 1868, pour obtenir de l'eau thermale d'après les indications de M. W.

Zsigmondy, qui dirigea le travail, il a été arrêté le 22 janvier à une profondeur de 970^{m},48, donnant de l'eau à près de 74° cen

Un forage d'essai entrepris d'abord dans la Margarethen-I au milieu du Danube, avait permis de vérifier l'allure des couc mais on ne pensait devoir aller à une aussi grande profondeur : dislocation du sol abaissait ces couches beaucoup plus bas q n'avait pu le prévoir, et ce ne fut que la température rapidem croissante qui encouragea à poursuivre jusqu'au bout.

On prenait chaque jour la température des boues ramenées la cuiller; malgré le refroidissement qu'elles devaient subir remontant, on constata un accroissement de température rapide surtout jusqu'à 7 ou 800 mètres de profondeur, un peu faible ensuite ; la boue remontée de la profondeur de 900 mè accusa une température de 80°,9, ce qui donne une moyenne 12^{m},61 pour un accroissement de 1°. On mesura aussi la tempéra ture au fond avec un thermomètre à maxima, mais l'échauffem produit par les coups de trépan et la pression de l'eau sur la pa de l'appareil entachèrent les résultats d'inexactitude.

L'eau commença à sortir de l'orifice du trou de sonde quand fut à 930 mètres de profondeur; elle était alors à 43°,35 ; au fur à mesure de l'approfondissement, le débit et la température au mentèrent rapidement, surtout pour les premiers mètres; ai pour 937^{m},06, la température était déjà de 65°,87, et le débit s'ét élevé de 432 à 2.206 hectolitres. Pour 945^{m},34 on eut 71°; p 955^{m},36-72°. Enfin, à la profondeur de 970^{m},48 à laquelle le fora fut arrêté le 22 janvier 1878, la température de l'eau jaillissa était de 73°,875, et le débit, par 24 heures, de 11.917 hectolitres. Mais ce débit s'abaissa définitivement à 7.600 hectolitres, par su de l'installation, dans le trou de sonde, d'une colonne de tubes e bois de mélèze, qui réduisit le diamètre intérieur à 80 millimètres tandis qu'il était précédemment de 176 millimètres pour la quatrième et dernière colonne descendue pendant le travail même.

L'eau qui sort du puits dégage de l'acide carbonique en abon dance, de l'azote et un peu d'hydrogène sulfuré ; elle renferme par litre 1^{gr},131 de matières fixes, composées surtout de sulfates et carbonates de potasse, soude, chaux, magnésie, avec un peu de chlorures ; elle est assez analogue, en somme, à celle des sources du Kaiserbad à Ofen.

Quant aux détails sur le forage lui-même, nous ne pouvons que renvoyer à l'intéressant mémoire publié par M. Zsigmondy dans le *Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt*, t. XXVIII, fasc. 4.

R. Z.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME QUINZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Voie sèche.

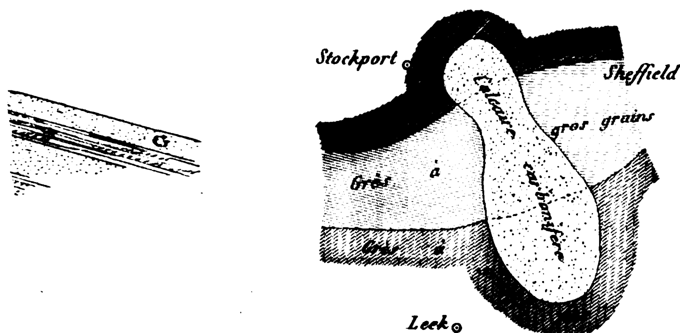
§ IV. — ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES.

Silicates.

Phosphates, arséniates, antimoniates, niobates.

Sulfures, arséniures, tellurures, etc.

Fig. 2.



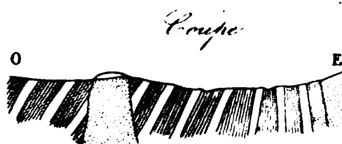
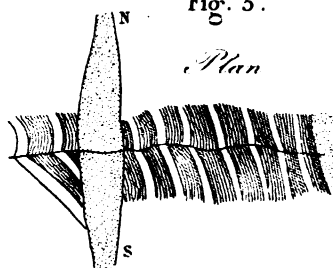
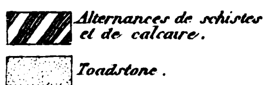
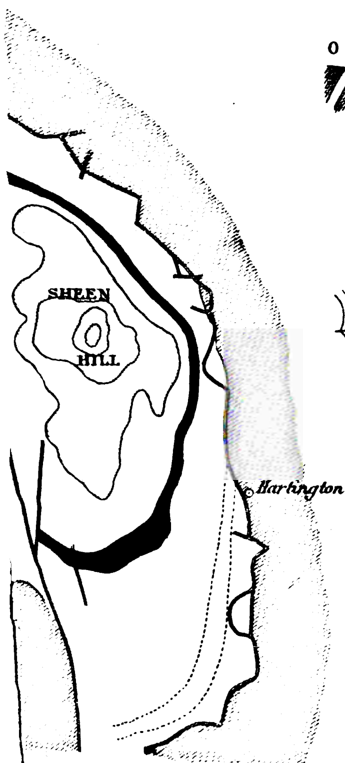


Fig. 3.

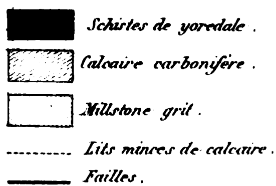


Légende de la Fig. 3.





Légende de la Fig. 5



Macquet del. et sc.





Pl. IV

Moldau Fl.

Budweis

Gr. Lekau

Slawetsch

Cime du Blackberg

Prabsch

Payreschau

Moldau Fl.

Steinkirchen

Maidstein

kerwald

Cime du Schöninger

Unter Brentenstein

Goldenkron

Weissein

Prenetitz

Neuhof

Wellesschin

Kahschowitz

Krumau

Zahradka

Priethal

Pohlen

Weisslowitz

Horschowitz

Schömern

Kaplitz

Ottau

Rosenthal

Moldau Fl.

30 kilom.

Macquet del. sc.



S.O.

Fig. 3.

N.E.

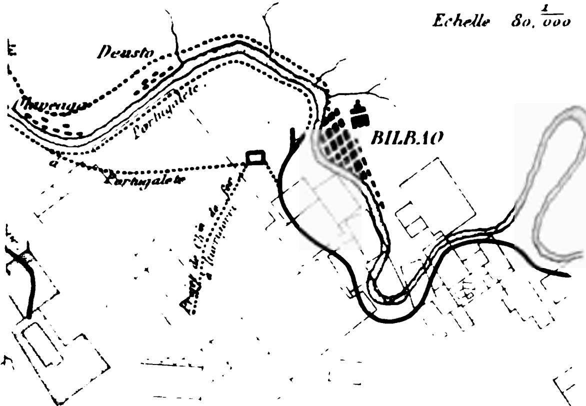
Coupe du Mt Triano

Légende des Figures 2 et 3.	Légende de la Figure 1. différentes Sociétés de Mines.
Terrain crétacé supérieur.	*Société de Orconera.*
id. id. moyen.	*Société franco-Belge de Somorrostro*
Roches plutoniques.	*Société de Bilbao.*
Minerais de fer.	*id. de Luchana.*
Minerai Campanil.	*id. de Somorrostro*
id. Rubio.	*id. de Landore Siemens.*
id. Vena dulce.	

Travaux d'Art.

Limites du Señorio de Biscaye.	*Chemins de fer construits.*
Chemins de fer.	*id. projetés.*
	Embarcadères.
	Digues et jetées projetées.
	Chemin de fer aérien.

Echelle $\frac{1}{80.000}$

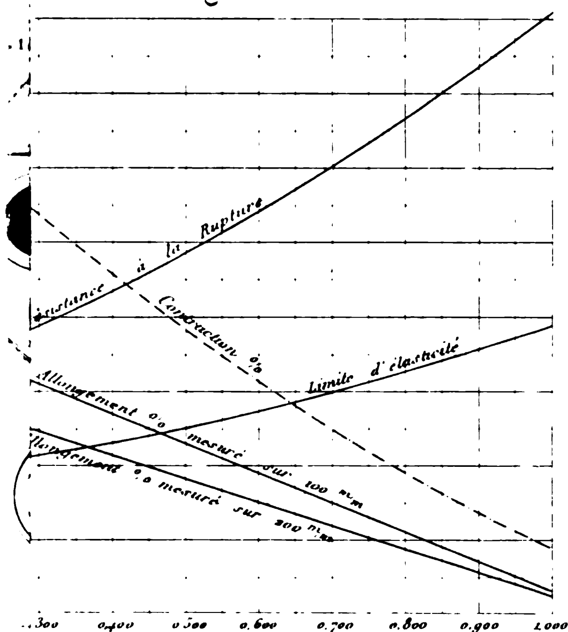


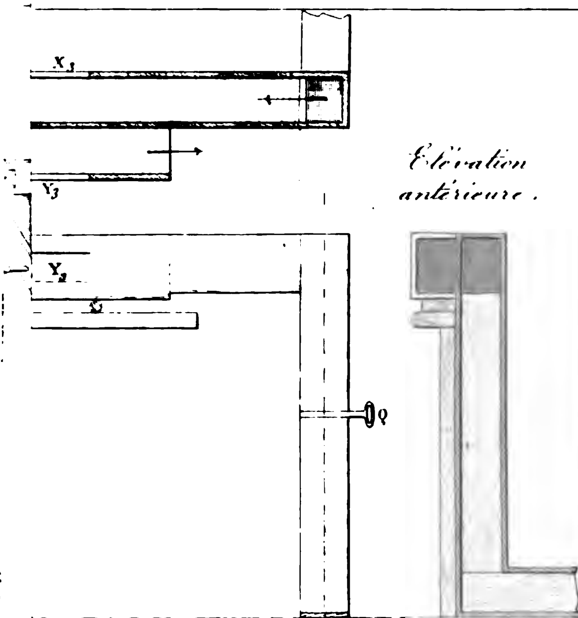
Mines de Ollargan Iturrigorri et Castrejana.

Macquet del. et sc.



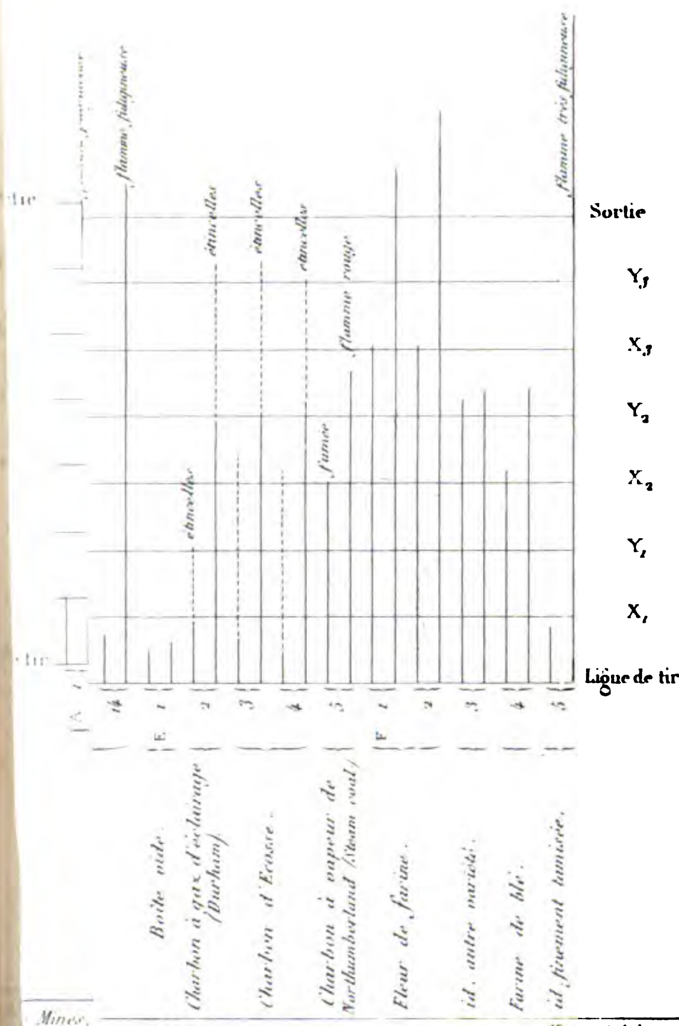
Fig. 9.





Macquet del et sc

la caisse d'explosion



Marquet del. et sc.



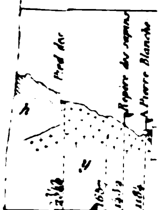


Fig. 10.

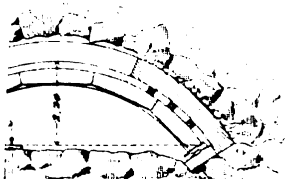


Fig. 13.

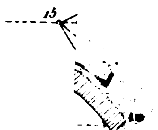


Fig. 14.

Fig. 4.

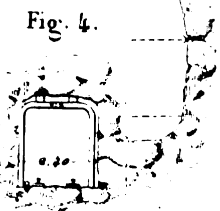


Fig. 17.

Fig

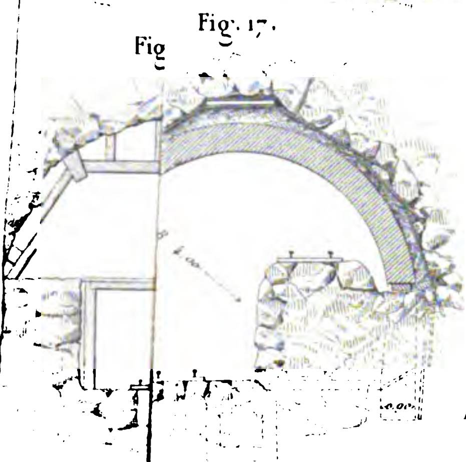


Fig. 18.

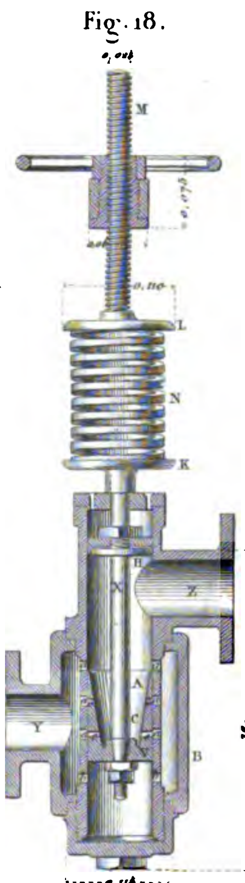
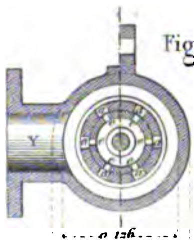


Fig. 19.



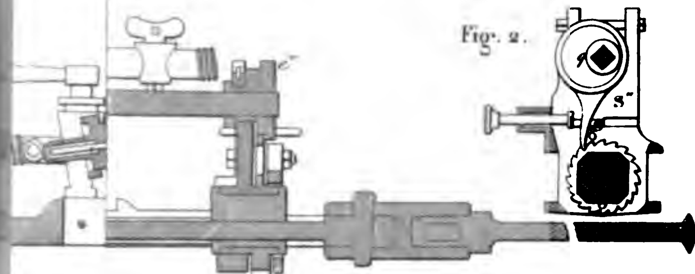
Echelle des Fig. 1, 2, 3 $\frac{1}{200,000}$

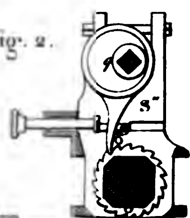
" *4 à 17* $\frac{1}{2000}$

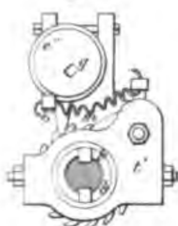
" *18 et 19* $\frac{1}{8}$

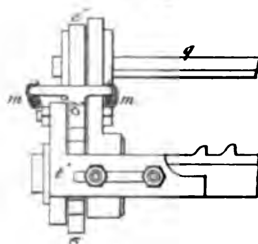
Macquet del. et sc.

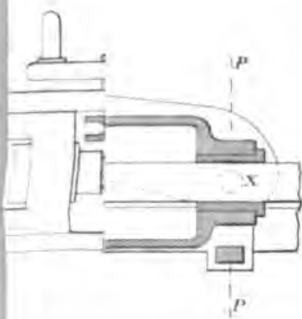
Pl. IX.

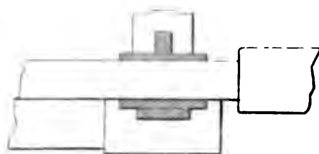


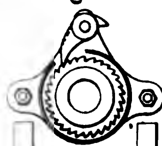


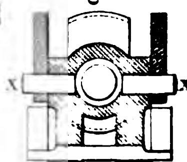


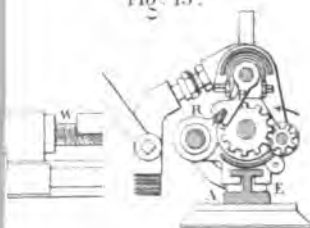


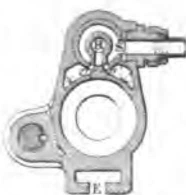




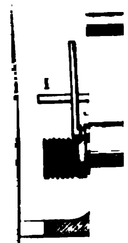


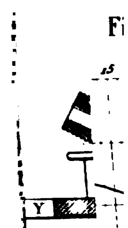


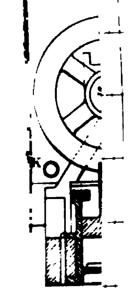


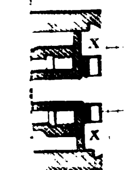


Macquet del. et sc.











des Mi

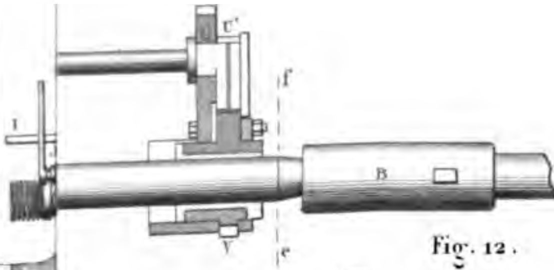
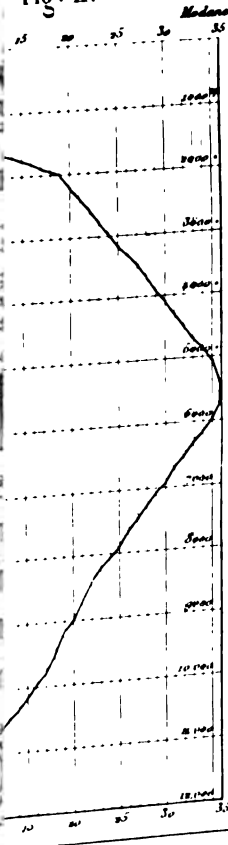
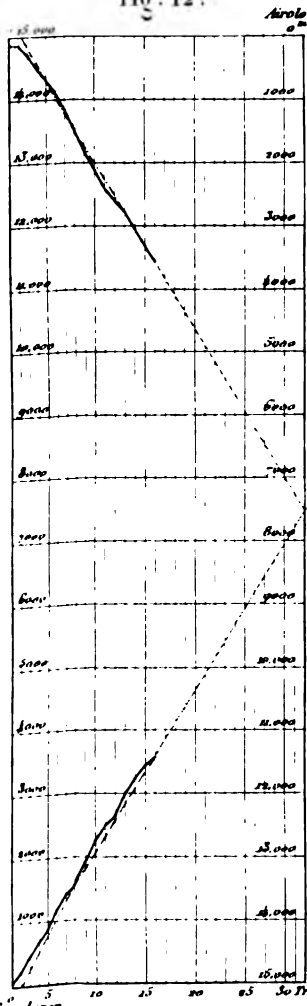


Fig. 12.

...ent kimestriel
...umulé.

Fig. 11.





Mucquet del. et sc.

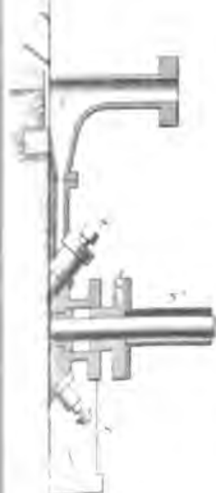


Fig. 7.

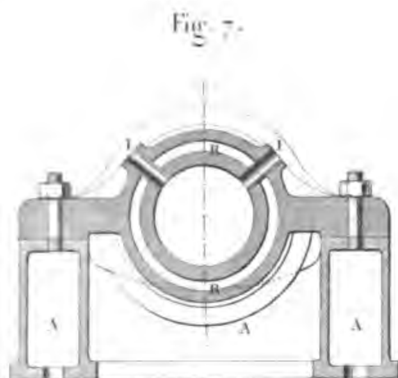


Fig. 4.

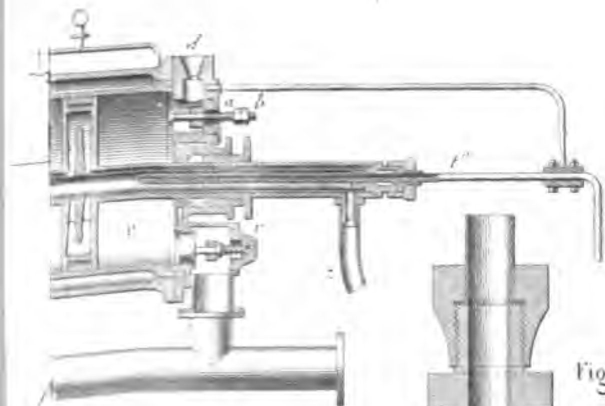


Fig. 5.

Bouquet del. et sc.



